



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113236207 B

(45) 授权公告日 2021.09.10

(21) 申请号 202110787098.X
 (22) 申请日 2021.07.13
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 113236207 A
 (43) 申请公布日 2021.08.10
 (73) 专利权人 西南石油大学
 地址 610500 四川省成都市新都区新都大道8号

CN 105134191 A, 2015.12.09
 CN 104453876 A, 2015.03.25
 CN 111502652 A, 2020.08.07
 CN 112360422 A, 2021.02.12
 CN 106194154 A, 2016.12.07
 CN 110334431 A, 2019.10.15
 CN 108804819 A, 2018.11.13
 CN 105528648 A, 2016.04.27
 CN 107435528 A, 2017.12.05

(72) 发明人 谭晓华 崔苗逢 李晓平 漆麟
 万翠蓉 孟展 丁磊 彭港珍

胡建国, 郭分乔, 许进进. 计算天然气偏差因子的DAK方法的修正.《石油与天然气地质》. 2013, 120-123页.

(51) Int. Cl.

E21B 43/20 (2006.01)

黄雨, 李晓平, 谭晓华. 三重介质复合气藏水平井不稳定产量递减动态分析.《天然气地球科学》. 2018, 1190-1197页.

(56) 对比文件

CN 110552682 A, 2019.12.10
 CN 111091293 A, 2020.05.01
 CN 108280534 A, 2018.07.13
 CN 107423844 A, 2017.12.01
 CN 109033541 A, 2018.12.18
 CN 107944599 A, 2018.04.20
 US 2021002999 A1, 2021.01.07
 CN 104832156 A, 2015.08.12
 CN 110242291 A, 2019.09.17
 CN 108694254 A, 2018.10.23

李玲、王波. 高压产水气井井底压力计算方法研究.《内蒙古石油化工》. 2011, 224-225页.

(续)

审查员 罗玮玮

权利要求书2页 说明书7页 附图3页

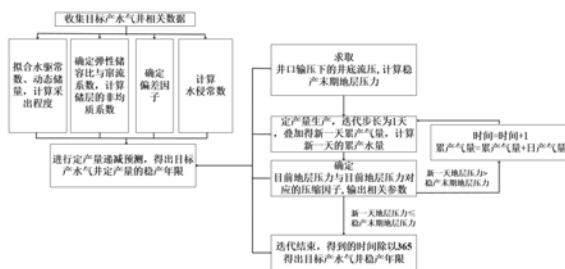
(54) 发明名称

一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法

(57) 摘要

本发明为一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法, 它主要是收集目标产水气井相关数据, 拟合得水驱常数与水侵常数, 采用Blasingame图版法拟合动态储量, 根据双重介质模型拟合弹性储容比与窜流系数, 计算储层的非均质系数, 得到稳产末期的井底流压, 以时间1天为迭代步长, 计算目标产水气井定量生产新一天的地层压力, 直到该地层压力小于等于稳产末

期地层压力结束迭代, 绘制目标产水气井定产量递减预测曲线。本发明能结合试井分析定量评价储层非均质性, 针对强非均质性产水气井的定量生产, 对其进行生产预测, 得出气井稳产年限, 实现强非均质储层产水气井定产量递减预测。



CN 113236207 B

[接上页]

(72) 发明人 邓永建 韩晓冰

(51) Int.Cl.

E21B 49/00 (2006.01)

(56) 对比文件

Ke Wang 等.Rapid and accurate evaluation of reserves in different types of shale-gas wells: Production-decline analysis.《International Journal of Coal

Geology》.2020,

谢维扬,李晓平,张烈辉,王俊超,程子洋,袁淋.页岩气多级压裂水平井不稳定产量递减探讨.《天然气地球科学》.2015,384-390页.

杨勇.低渗透压敏油藏产量递减动态预测方法研究.《大庆石油地质与开发》.2008,64-67页.

彭朝阳,李井亮,韩永胜,王林,黄小青,吕一.页岩气井压力递减分析新方法.《天然气勘探与开发》.2020,104-109页.

1. 一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

S100、收集目标产水气井的原始地层压力 p_i 、井口输压 p_t 、点测静压数据 p_j 与点测静压相对应的累产气量 G_{pj} 、地层温度 T_i 、井口温度 t 、井筒产层中部深度 h 、井筒半径 r_w 、无阻流量 q_{AOF} 、目前的累产气量 G_p 、累产水量 W_p 、日产气量 q_g 、日产水量 q_w 、气样的相对密度 γ_g 、氮气摩尔分数 y_{N_2} 、二氧化碳摩尔分数 y_{CO_2} 、硫化氢摩尔分数 y_{H_2S} 、水样的相对密度 γ_w 和氯化钠摩尔分数 y_{NaCl} ;

S200、基于每天的累产水量和每天的累产气量,得出水驱常数 a 、水驱常数 b ,并得到目标产水气井的甲型水驱公式;

S300、采用Blasingame图版法拟合得出目标产水气井的动态储量 G ,由点测静压相对应的累产气量除以目标产水气井的动态储量得出点测静压相对应的储量采出程度 R_j ;

S400、收集目标产水气井压力恢复试井数据,进行压力恢复试井分析,计算得出目标产水气井所在储层的非均质系数 D ,具体步骤为:第一、基于目标产水气井压力恢复试井得到的压力随试井的变化数据,采用双重介质模型进行数据拟合,得到弹性储容比 ω 与窜流系数 λ ;

第二、根据拟合得到的弹性储容比 ω 与窜流系数 λ ,代入 $D = \frac{\alpha r_w^2}{\lambda} \frac{\lambda}{\frac{\alpha r_w^2}{\lambda} \left(\frac{\omega}{1-\omega} \right) + 1}$ 计算储层非均质系数 D ,其中, α 为形状因子,由目标产水气井所在储层中的岩心取心获得,单位为 m^{-2} ; r_w 为井筒半径,单位为 m ; λ 为窜流系数,无单位; ω 为弹性储容比,无单位; D 为储层非均质系数,无单位;

第三、根据拟合得到的弹性储容比 ω 与窜流系数 λ ,代入 $D = \frac{\alpha r_w^2}{\lambda} \frac{\lambda}{\frac{\alpha r_w^2}{\lambda} \left(\frac{\omega}{1-\omega} \right) + 1}$ 计算储层非均质系数 D ,其中, α 为形状因子,由目标产水气井所在储层中的岩心取心获得,单位为 m^{-2} ; r_w 为井筒半径,单位为 m ; λ 为窜流系数,无单位; ω 为弹性储容比,无单位; D 为储层非均质系数,无单位;

S500、根据收集到的气体相对密度 γ_g 、原始地层压力 p_i 、点测静压数据 p ,采用D-A-K法求得原始地层压力下的偏差因子 z_i 、点测静压下的偏差因子 z ;

S600、结合水封气物质平衡公式 $\frac{p/z}{p_i/z_i} = \frac{1-DR^C-R}{1-R^C}$,采用牛顿迭代法计算得出水侵常数

C ,其中, p 为点测静压数据,单位为 MPa ; z 为点测静压下的偏差因子,无单位; p_i 为原始地层压力,单位为 MPa ; z_i 为原始地层压力下的偏差因子,无单位; D 为储层非均质系数,无单位; R 为储量的采出程度,无单位; C 为水侵常数,无单位,具体步骤为:第一、由水封气物质平衡公式得到水侵常数 C 为未知量的公式 $f(C) = \frac{1-DR^C-R}{1-R^C} - \frac{p/z}{p_i/z_i}$,其中, $f(C)$ 为表征水侵常数 C 的公式,无单位;

第二、根据 $f(C)$ 对水侵常数 C 进行求导,得到

$f'(C) = \frac{(1-DR^C-R)(R^C \ln R) - (1-R^C)(DR^C \ln R)}{(1-R^C)^2}$,其中 $f'(C)$ 为 $f(C)$ 对水侵常数 C 求导后的公式,无单位;

第三、设定水侵常数 C 为1,带入 $f(C)$ 与 $f'(C)$,通过 C 减去 $f(C)$ 与 $f'(C)$ 的比值计算得出新的水侵常数 C_1 ;第四、计算 C 与 C_1 的绝对差,若 C 与 C_1 的绝对差小于0.00001,则 C_1 为所求目标产水气井的水侵常数;若 C 与 C_1 的绝对差大于0.00001,则将 C 替换为 C_1 ,重新带入 $f(C)$ 与 $f'(C)$,计算得出全新的水侵常数 C_1 ,直至 C 与 C_1 的绝对差小于0.00001,最终得出目标气井的水侵常数 C ;

S700、对目标产水气井进行定产量的递减预测,得出目标产水气井定产量的稳产年限,

具体步骤为：第一、采用Hagedorn-Brown法，将原始地层压力 p_i 、井口输压 p_t 、地层温度 T_i 、井口温度 t 、井筒产层中部深度 h 、井筒半径 r_w 、日产气量 q_g 、日产水量 q_w 、气样的相对密度 γ_g 、氮气摩尔分数 y_{N_2} 、二氧化碳摩尔分数 y_{CO_2} 、硫化氢摩尔分数 y_{H_2S} ，水样的相对密度 γ_w 和氯化钠摩尔分数 y_{NaCl} 带入，求得井口输压下的井底流压 p_{wfmin} ，即稳产末期的井底流压 p_{wfmin} ；第二、根据一点法公式计算稳产末期的井底流压 p_{wfmin} 下的稳产末期地层压力 p_{min} ；第三、由目标产水气井目前的累产气量除以目标产水气井的动态储量得出储量的采出程度 R ，结合水封气物质平衡公式与D-A-K法得出目前地层压力 p 与目前地层压力对应的压缩因子 z ；第四、目标产水气井以 q_g 定量生产，以时间1天为迭代步长，叠加 G_p 得到新一天的累产气量，代入目标产水气井的甲型水驱公式计算新一天的累产水量，结合水封气物质平衡公式与D-A-K法得到新一天的地层压力，直到新一天的地层压力小于等于稳产末期地层压力 p_{min} 结束迭代，代入一点法公式反算井底流压，绘制井底流压随时间的变化曲线，得到目标产水气井定产量递减预测曲线；第五、根据迭代结束时的时间除以365天得出目标产水气井的稳产年限。

2. 根据权利要求1所述的一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法，其特征在于，步骤S300中所述Blasingame图版法为采用RTA软件，输入目标产水气井的生产数据、原始地层压力、地层温度、井筒产层中部深度、井筒半径，在理论曲线图版上对实际生成曲线进行拟合，再由RTA软件自动计算出目标产水气井的动态储量。

3. 根据权利要求1所述的一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法，其

特征在于，步骤S700中所述一点法公式为
$$q_{AOF} = \frac{6q_g}{\sqrt{1 + 48 \frac{p_{min}^2 - p_{wfmin}^2}{p_{min}^2} - 1}}$$
，其中， q_g 为日产

气量，单位为 m^3 ； q_{AOF} 为无阻流量，单位为 m^3 ； p_{min} 为稳产末期地层压力，单位为MPa； p_{wfmin} 为稳产末期的井底流压，单位为MPa。

一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法

技术领域

[0001] 本发明属于气藏工程开发领域,具体涉及一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法。

背景技术

[0002] 天然气是较为安全的燃气之一,采用天然气作为能源,不仅可减少煤和石油的用量,从而大大改善环境污染问题;还能减少二氧化碳、二氧化硫和粉尘的排放量,有助于减少酸雨形成,从根本上改善环境质量,因此天然气的开发显得尤为重要。但是对于强非均质性储层产水气井,储层的强非均质性以及产水都会对引起气井生产上的变化,导致气井的递减不同于常规气井。因此如何评价储层不均匀以及产水时气井的递减趋势,在气藏开发中是一个难题。

[0003] 目前,已有发明专利CN201410638125.7《一种油气井产量递减分析方法和系统》提供了一种可应用于页岩气井和其他类型油气井产量分析和动态评价的油气井产量递减分析方法和系统,但是此方法为预测气井的产量递减,但实际气井生产过程往往为定产量生产,且并未针对非均质以及产水气井进行生产预测;发明专利CN201310314083.7《一种缝洞型碳酸盐岩气藏动态分析方法及系统》可以针对缝洞型非均质气藏进行定产量生产动态预测,并不能针对产水气井进行生产动态预测。因此,为了更好的形成一种强非均质性储层产水气井定产量递减预测方法,本发明针对强非均质性储层产水气井,进行了定产量生产的动态预测。

发明内容

[0004] 本发明目的是针对强非均质产水气藏,建立定产量生产情况下气井的生产动态预测,形成强非均质性储层产水气井定产量递减预测方法,为气藏开发奠定基础。

[0005] 本发明所采用的技术方案是:

[0006] S100、收集目标产水气井的原始地层压力 p_i 、井口输压 p_t 、点测静压数据 p_j 与点测静压相对应的累产气量 G_{pj} 、地层温度 T_i 、井口温度 t 、井筒产层中部深度 h 、井筒半径 r_w 、无阻流量 q_{AOF} 、目前的累产气量 G_p 、累产水量 W_p 、日产气量 q_g 、日产水量 q_w 、气样的相对密度 γ_g 、氮气摩尔分数 y_{N_2} 、二氧化碳摩尔分数 y_{CO_2} 、硫化氢摩尔分数 y_{H_2S} 、水样的相对密度 γ_w 和氯化钠摩尔分数 y_{NaCl} ;

[0007] S200、基于每天的累产水量和每天的累产气量,得出水驱常数 a 、水驱常数 b ,并得到目标产水气井的甲型水驱公式;

[0008] S300、采用Blasingame图版法拟合得出目标产水气井的动态储量 G ,由点测静压相对应的累产气量除以目标产水气井的动态储量得出点测静压相对应的储量采出程度 R_j ;

[0009] S400、收集目标产水气井压力恢复试井数据,进行压力恢复试井分析,计算得出目标产水气井所在储层的非均质系数 D ,具体步骤为:第一、基于目标产水气井压力恢复试井得到的压力随试井的变化数据,采用双重介质模型进行数据拟合,得到弹性储容比 ω 与窜

流系数 λ ；第二、根据拟合得到的弹性储容比 ω 与窜流系数 λ ，代入 $D = \frac{\frac{\alpha r_w^2}{\lambda}}{\frac{\alpha r_w^2}{\lambda} \left(\frac{\omega}{1-\omega} \right) + 1}$ 计算

储层非均质系数 D ，其中， α 为形状因子，由目标产水气井所在储层中的岩心取心获得，单位为 m^{-2} ； r_w 为井筒半径，单位为 m ； λ 为窜流系数，无单位； ω 为弹性储容比，无单位； D 为储层非均质系数，无单位；

[0010] S500、根据收集到的气体相对密度 γ_g 、原始地层压力 p_i 、点测静压数据 p ，采用D-A-K法求得原始地层压力下的偏差因子 z_i 、点测静压下的偏差因子 z ；

[0011] S600、结合水封气物质平衡公式 $\frac{p/z}{p_i/z_i} = \frac{1-DR^C-R}{1-R^C}$ ，采用牛顿迭代法计算得出水侵常数 C ，其中， p 为点测静压数据，单位为 MPa ； z 为点测静压下的偏差因子，无单位； p_i 为原始地层压力，单位为 MPa ； z_i 为原始地层压力下的偏差因子，无单位； D 为储层非均质系数，无单位； R 为储量的采出程度，无单位； C 为水侵常数，无单位，具体步骤为：第一、由水封气物质

平衡公式得到水侵常数 C 为未知量的公式 $f(C) = \frac{1-DR^C-R}{1-R^C} - \frac{p/z}{p_i/z_i}$ ，其中， $f(C)$ 为表征

水侵常数 C 的公式，无单位；第二、根据 $f(C)$ 对水侵常数 C 进行求导，得到

$f'(C) = \frac{(1-DR^C-R)(R^C \ln R) - (1-R^C)(DR^C \ln R)}{(1-R^C)^2}$ ，其中 $f'(C)$ 为 $f(C)$ 对水侵常数 C 求导后的公式，

无单位；第三、设定水侵常数 C 为1，带入 $f(C)$ 与 $f'(C)$ ，通过 C 减去 $f(C)$ 与 $f'(C)$ 的比值计算得出新的水侵常数 C_1 ；第四、计算 C 与 C_1 的绝对差，若 C 与 C_1 的绝对差小于0.00001，则 C_1 为所求目标产水气井的水侵常数；若 C 与 C_1 的绝对差大于0.00001，则将 C 替换为 C_1 ，重新带入 $f(C)$ 与 $f'(C)$ ，计算得出全新的水侵常数 C_1 ，直至 C 与 C_1 的绝对差小于0.00001，最终得出目标气井的水侵常数 C ；

[0012] S700、对目标产水气井进行定产量的递减预测，得出目标产水气井定产量的稳产年限，具体步骤为：第一、采用Hagedorn-Brown法，将原始地层压力 p_i 、井口输压 p_t 、地层温度 T_i 、井口温度 t 、井筒产层中部深度 h 、井筒半径 r_w 、日产气量 q_g 、日产水量 q_w 、气样的相对密度 γ_g 、氮气摩尔分数 y_{N_2} 、二氧化碳摩尔分数 y_{CO_2} 、硫化氢摩尔分数 y_{H_2S} ，水样的相对密度 γ_w 和氯化钠摩尔分数 y_{NaCl} 带入，求得井口输压下的井底流压 p_{wfmin} ，即稳产末期的井底流压 p_{wfmin} ；第二、根据一点法公式计算稳产末期的井底流压 p_{wfmin} 下的稳产末期地层压力 p_{min} ；第三、由目标产水气井目前的累产气量除以目标产水气井的动态储量得出储量的采出程度 R ，结合水封气物质平衡公式与D-A-K法得出目前地层压力 p 与目前地层压力对应的压缩因子 z ；第四、目标产水气井以 q_g 定量生产，以时间1天为迭代步长，叠加 G_p 得到新一天的累产气量，代入目标产水气井的甲型水驱公式计算新一天的累产水量，结合水封气物质平衡公式与D-A-K法得到新一天的地层压力，直到新一天的地层压力小于等于稳产末期地层压力 p_{min} 结束迭代，代入一点法公式反算井底流压，绘制井底流压随时间的变化曲线，得到目标产水气井定产量递减预测曲线；第五、根据迭代结束时的时间除以365天得出目标产水气井的稳产年限。

[0013] 上述一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法中,其特征在于,Blasingame图版法为采用RTA软件,输入目标产水气井的生产数据、原始地层压力、地层温度、井筒产层中部深度、井筒半径,在理论曲线图版上对实际生成曲线进行拟合,再由RTA软件自动计算出目标产水气井的动态储量。

[0014] 上述一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法中,其特征在于,D-A-K法为根据气样的相对密度 γ_g 采用经验公式 $p_{pc} = (46.7 - 32.1 \times (\gamma_g - 0.5)) \times 0.09869$ 与 $T_{pc} = 171 \times (\gamma_g - 0.5) + 182$ 计算拟临界压力 p_{pc} 与拟临界温度 T_{pc} ,再根据某一地层压力 p_k 与某一地层温度 T_k 采用 $p_{pr} = p_k / p_{pc}$ 与 $T_{pr} = T_k / T_{pc}$ 计算拟对比压力 p_{pr} 与拟对比温度 T_{pr} ,采

$$F(\rho_{pr}) = -0.27 p_{pr} / T_{pr} + \rho_{pr} + (A_1 + A_2 / T_{pr} + A_3 / T_{pr}^3 + A_4 / T_{pr}^4 + A_5 / T_{pr}^5) \rho_{pr}^2 + (A_6 + A_7 / T_{pr} + A_8 / T_{pr}^2) \rho_{pr}^3 - A_9 (A_7 / T_{pr} + A_8 / T_{pr}^2) \rho_{pr}^6 + A_{10} (1 + A_{11} \rho_{pr}^2) (\rho_{pr}^3 / T_{pr}^3) \exp(-A_{11} \rho_{pr}^2)$$

用 $\rho_{pr} = 0.27 p_{pr} / (z_k T_{pr})$ 、

$$F'(\rho_{pr}) = 1 + 2(A_1 + A_2 / T_{pr} + A_3 / T_{pr}^3 + A_4 / T_{pr}^4 + A_5 / T_{pr}^5) \rho_{pr} + 3(A_6 + A_7 / T_{pr} + A_8 / T_{pr}^2) \rho_{pr}^2 - 6A_9 (A_7 / T_{pr} + A_8 / T_{pr}^2) \rho_{pr}^5 + (A_{10} / T_{pr}^3) [3\rho_{pr}^2 + A_{11} (3\rho_{pr}^4 - 2A_{11} \rho_{pr}^6)] \exp(-A_{11} \rho_{pr}^2)$$

与这三个公式联立迭代计

算出偏差因子,其中, γ_g 为气样的相对密度,无单位; p_{pc} 为拟临界压力,单位为MPa; T_{pc} 为拟临界温度,单位为K; p_k 为某一地层压力,单位为MPa; T_k 为某一地层温度,单位为K; p_{pr} 为拟对比压力,单位为MPa; T_{pr} 为拟对比温度,单位为K; ρ_{pr} 为拟对比密度,无单位; z_k 为某一地层压力对应的偏差因子,无单位; $F(\rho_{pr})$ 为表征拟对比密度的公式,无单位; $A_1=0.3265$,无单位; $A_2=-1.0700$,无单位; $A_3=-0.5339$,无单位; $A_4=0.01569$,无单位; $A_5=-0.05165$,无单位; $A_6=0.5475$,无单位; $A_7=-0.7361$,无单位; $A_8=0.1844$,无单位; $A_9=0.1056$,无单位; $A_{10}=0.6134$,无单位; $A_{11}=0.7210$,无单位; $F'(\rho_{pr})$ 为 $F(\rho_{pr})$ 对 ρ_{pr} 求导后的公式,无单位。

[0015] 上述一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法中,其特征在于,

Hagedorn-Brown法为 $\frac{\Delta p}{\Delta H} = 10^{-6} \left(\rho_m g + f_m \frac{G_{mA}^2}{4r_w^2 \rho_m} \right)$ 、 $\rho_m = \rho_w H_L + \rho_g (1 - H_L)$ 、

$$1/\sqrt{f_m} = 1.14 - 2 \lg(e/2/r_w + 21.25/N_{Re}^{0.9})、V_{sl} = \frac{q_w}{86400\pi r_w^2}、V_{sg} = \frac{q_g}{86400\pi r_w^2}、$$

$$G_{mA} = V_{sl} \rho_w + V_{sg} \rho_g \text{ 与 } N_{Re} = \frac{(V_{sl} \rho_w + V_{sg} \rho_g) \times 2 \times r_w}{\mu_w^{H_L} \times \mu_g^{(1-H_L)}} \text{ 结合计算井底流压,其中, } \Delta p \text{ 为井}$$

管道压力增加量,单位为MPa; ΔH 为井管道深度增加量,单位为m; ρ_m 为气水混合物密度,单位为 kg/m^3 ; g 为重力加速度,单位为 m/s^2 ; f_m 为两相摩阻系数,无单位; G_{mA} 为单位井管道横截面积下的混合物质量流量, kg/s/m^2 ; r_w 为井筒半径,单位为m; ρ_w 为目标产水气井水密度,由物性分析可知,单位为 kg/m^3 ; ρ_g 为目标产水气井气密度,由物性分析可知,单位为 kg/m^3 ; H_L

为持液率,无单位; e 为管壁绝对粗糙度,管壁分析可知,单位为 m ; N_{Re} 为两相雷诺数,无单位; q_g 为日产气量,单位为 m^3 ; q_w 为日产水量,单位为 m^3 ; V_{s1} 为液相表观速度,单位为 m/s ; V_{sg} 为气相表观速度,单位为 m/s ; μ_w 为水黏度,由物性分析可知,单位为 $mPa \cdot s$; μ_g 为气黏度,由物性分析可知,单位为 $mPa \cdot s$ 。

[0016] 上述一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法中,其特征在于,一

点法公式为
$$q_{AOF} = \frac{6q_g}{\sqrt{1 + 48 \frac{p_{min}^2 - p_{wfmin}^2}{p_{min}^2} - 1}}$$
, 其中, q_g 为日产气量,单位为 m^3 ; q_{AOF} 为无阻流量,

单位为 m^3 ; p_{min} 为稳产末期地层压力,单位为 MPa ; p_{wfmin} 为稳产末期的井底流压,单位为 MPa ;

[0017] 本发明的优点:能结合试井分析定量评价储层非均质性,针对强非均质性产水气井的定量生产,对其进行生产预测,得出气井稳产年限,实现强非均质储层产水气井定产量递减预测。

附图说明

[0018] 在附图中:

[0019] 图1是一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法步骤图。

[0020] 图2是某强非均质产水气井甲型水驱曲线图。

[0021] 图3是某强非均质产水气井Blasingame图版拟合图。

[0022] 图4是某强非均质产水气井双重介质拟合图。

[0023] 图5是某强非均质产水气井定产量递减预测曲线。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图对本发明做进一步说明。

[0025] 本发明提供了一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法,图1为本方法的步骤图,该评价方法包括下列步骤:

[0026] S100、收集目标产水气井的原始地层压力 p_i 、井口输压 p_t 、点测静压数据 p_j 与点测静压相对应的累产气量 G_{pj} 、地层温度 T_i 、井口温度 t 、井筒产层中部深度 h 、井筒半径 r_w 、无阻流量 q_{AOF} 、目前的累产气量 G_p 、累产水量 W_p 、日产气量 q_g 、日产水量 q_w 、气样的相对密度 γ_g 、氮气摩尔分数 y_{N_2} 、二氧化碳摩尔分数 y_{CO_2} 、硫化氢摩尔分数 y_{H_2S} 、水样的相对密度 γ_w 和氯化钠摩尔分数 y_{NaCl} ;

[0027] S200、基于每天的累产水量和每天的累产气量,得出水驱常数 a 、水驱常数 b ,并得到目标产水气井的甲型水驱公式;

[0028] S300、采用Blasingame图版法拟合得出目标产水气井的动态储量 G ,由点测静压相对应的累产气量除以目标产水气井的动态储量得出点测静压相对应的储量采出程度 R_j ;

[0029] S400、收集目标产水气井压力恢复试井数据,进行压力恢复试井分析,计算得出目标产水气井所在储层的非均质系数 D ,具体步骤为:第一、基于目标产水气井压力恢复试井得到的压力随试井的变化数据,采用双重介质模型进行数据拟合,得到弹性储容比 ω 与窜

流系数 λ ；第二、根据拟合得到的弹性储容比 ω 与窜流系数 λ ，代入 $D = \frac{\frac{\alpha r_w^2}{\lambda}}{\frac{\alpha r_w^2}{\lambda} \left(\frac{\omega}{1-\omega} \right) + 1}$ 计算储层

非均质系数 D ，其中， a 为形状因子，由目标产水气井所在储层中的岩心取心获得，单位为 m^{-2} ； r_w 为井筒半径，单位为 m ； λ 为窜流系数，无单位； ω 为弹性储容比，无单位； D 为储层非均质系数，无单位；

[0030] S500、根据收集到的气体相对密度 γ_g 、原始地层压力 p_i 、点测静压数据 p ，采用D-A-K法求得原始地层压力下的偏差因子 z_i 、点测静压下的偏差因子 z ；

[0031] S600、结合水封气物质平衡公式 $\frac{p/z}{p_i/z_i} = \frac{1-DR^C-R}{1-R^C}$ ，采用牛顿迭代法计算得出水

侵常数 C ，其中， p 为点测静压数据，单位为 MPa ； z 为点测静压下的偏差因子，无单位； p_i 为原始地层压力，单位为 MPa ； z_i 为原始地层压力下的偏差因子，无单位； D 为储层非均质系数，无单位； R 为储量的采出程度，无单位； C 为水侵常数，无单位，具体步骤为：第一、由水封气物质

平衡公式得到水侵常数 C 为未知量的公式 $f(C) = \frac{1-DR^C-R}{1-R^C} - \frac{p/z}{p_i/z_i}$ ，其中， $f(C)$ 为表征

水侵常数 C 的公式，无单位；第二、根据 $f(C)$ 对水侵常数 C 进行求导，得到

$f'(C) = \frac{(1-DR^C-R)(R^C \ln R) - (1-R^C)(DR^C \ln R)}{(1-R^C)^2}$ ，其中 $f'(C)$ 为 $f(C)$ 对水侵常数 C 求导后的公

式，无单位；第三、设定水侵常数 C 为1，带入 $f(C)$ 与 $f'(C)$ ，通过 C 减去 $f(C)$ 与 $f'(C)$ 的比值计算得出新的水侵常数 C_1 ；第四、计算 C 与 C_1 的绝对差，若 C 与 C_1 的绝对差小于0.00001，则 C_1 为所求目标产水气井的水侵常数；若 C 与 C_1 的绝对差大于0.00001，则将 C 替换为 C_1 ，重新带入 $f(C)$ 与 $f'(C)$ ，计算得出全新的水侵常数 C_1 ，直至 C 与 C_1 的绝对差小于0.00001，最终得出目标气井的水侵常数 C ；

[0032] S700、对目标产水气井进行定产量的递减预测，得出目标产水气井定产量的稳产年限，具体步骤为：第一、采用Hagedorn-Brown法，将原始地层压力 p_i 、井口输压 p_t 、地层温度 T_i 、井口温度 t 、井筒产层中部深度 h 、井筒半径 r_w 、日产气量 q_g 、日产水量 q_w 、气样的相对密度 γ_g 、氮气摩尔分数 y_{N_2} 、二氧化碳摩尔分数 y_{CO_2} 、硫化氢摩尔分数 y_{H_2S} ，水样的相对密度 γ_w 和氯化钠摩尔分数 y_{NaCl} 带入，求得井口输压下的井底流压 p_{wfmin} ，即稳产末期的井底流压 p_{wfmin} ；第二、根据一点法公式计算稳产末期的井底流压 p_{wfmin} 下的稳产末期地层压力 p_{min} ；第三、由目标产水气井目前的累产气量除以目标产水气井的动态储量得出储量的采出程度 R ，结合水封气物质平衡公式与D-A-K法得出目前地层压力 p 与目前地层压力对应的压缩因子 z ；第四、目标产水气井以 q_g 定量生产，以时间1天为迭代步长，叠加 G_p 得到新一天的累产气量，代入目标产水气井的甲型水驱公式计算新一天的累产水量，结合水封气物质平衡公式与D-A-K法得到新一天的地层压力，直到新一天的地层压力小于等于稳产末期地层压力 p_{min} 结束迭代，代入一点法公式反算井底流压，绘制井底流压随时间的变化曲线，得到目标产水气井定产量递减预测曲线；第五、根据迭代结束时的时间除以365天得出目标产水气井的稳产年限。

[0033] 进一步的,所述一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法中,Blasingame图版法为采用RTA软件,输入目标产水气井的生产数据、原始地层压力、地层温度、井筒产层中部深度、井筒半径,在理论曲线图版上对实际生成曲线进行拟合,再由RTA软件自动计算出目标产水气井的动态储量。

[0034] 进一步的,所述一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法中,D-A-K法为根据气样的相对密度 γ_g 采用经验公式 $p_{pc} = (46.7 - 32.1 \times (\gamma_g - 0.5)) \times 0.09869$ 与 $T_{pc} = 171 \times (\gamma_g - 0.5) + 182$ 计算拟临界压力 p_{pc} 与拟临界温度 T_{pc} ,再根据某一地层压力 p_k 与某一地层温度 T_k 采用 $p_{pr} = p_k / p_{pc}$ 与 $T_{pr} = T_k / T_{pc}$ 计算拟对比压力 p_{pr} 与拟对比温度

$$F(\rho_{pr}) = -0.27 p_{pr} / T_{pr} + \rho_{pr} + \left(A_1 + A_2 / T_{pr} + A_3 / T_{pr}^3 + A_4 / T_{pr}^4 + A_5 / T_{pr}^5 \right) \rho_{pr}^2 + \left(A_6 + A_7 / T_{pr} + A_8 / T_{pr}^2 \right) \rho_{pr}^3 - A_9 \left(A_7 / T_{pr} + A_8 / T_{pr}^2 \right) \rho_{pr}^6 + A_{10} \left(1 + A_{11} \rho_{pr}^2 \right) \left(\rho_{pr}^3 / T_{pr}^3 \right) \exp \left(-A_{11} \rho_{pr}^2 \right)$$

$$F'(\rho_{pr}) = 1 + 2 \left(A_1 + A_2 / T_{pr} + A_3 / T_{pr}^3 + A_4 / T_{pr}^4 + A_5 / T_{pr}^5 \right) \rho_{pr} + 3 \left(A_6 + A_7 / T_{pr} + A_8 / T_{pr}^2 \right) \rho_{pr}^2 - 6 A_9 \left(A_7 / T_{pr} + A_8 / T_{pr}^2 \right) \rho_{pr}^5 + \left(A_{10} / T_{pr}^3 \right) \left[3 \rho_{pr}^2 + A_{11} \left(3 \rho_{pr}^4 - 2 A_{11} \rho_{pr}^6 \right) \right] \exp \left(-A_{11} \rho_{pr}^2 \right)$$

算出偏差因子,其中, γ_g 为气样的相对密度,无单位; p_{pc} 为拟临界压力,单位为MPa; T_{pc} 为拟临界温度,单位为K; p_k 为某一地层压力,单位为MPa; T_k 为某一地层温度,单位为K; p_{pr} 为拟对比压力,单位为MPa; T_{pr} 为拟对比温度,单位为K; ρ_{pr} 为拟对比密度,无单位; z_k 为某一地层压力对应的偏差因子,无单位; $F(\rho_{pr})$ 为表征拟对比密度的公式,无单位; $A_1=0.3265$,无单位; $A_2=-1.0700$,无单位; $A_3=-0.5339$,无单位; $A_4=0.01569$,无单位; $A_5=-0.05165$,无单位; $A_6=0.5475$,无单位; $A_7=-0.7361$,无单位; $A_8=0.1844$,无单位; $A_9=0.1056$,无单位; $A_{10}=0.6134$,无单位; $A_{11}=0.7210$,无单位; $F'(\rho_{pr})$ 为 $F(\rho_{pr})$ 对 ρ_{pr} 求导后的公式,无单位。

[0035] 进一步的,所述一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法中,

$$\text{Hagedorn-Brown法为 } \frac{\Delta p}{\Delta H} = 10^{-6} \left(\rho_m g + f_m \frac{G_{mA}^2}{4 r_w^2 \rho_m} \right), \rho_m = \rho_w H_L + \rho_g (1 - H_L),$$

$$1 / \sqrt{f_m} = 1.14 - 2 \lg \left(e / 2 / r_w + 21.25 / N_{Re}^{0.9} \right), V_{sl} = \frac{q_w}{86400 \pi r_w^2}, V_{sg} = \frac{q_g}{86400 \pi r_w^2},$$

$$G_{mA} = V_{sl} \rho_w + V_{sg} \rho_g \text{ 与 } N_{Re} = \frac{(V_{sl} \rho_w + V_{sg} \rho_g) \times 2 \times r_w}{\mu_w^{H_L} \times \mu_g^{(1-H_L)}} \text{ 结合计算井底流压,其中, } \Delta p \text{ 为}$$

井管道压力增加量,单位为MPa; ΔH 为井管道深度增加量,单位为m; ρ_m 为气水混合物密度,单位为 kg/m^3 ; g 为重力加速度,单位为 m/s^2 ; f_m 为两相摩阻系数,无单位; G_{mA} 为单位井管道横截面积下的混合物质量流量, kg/s/m^2 ; r_w 为井筒半径,单位为m; ρ_w 为目标产水气井水密度,由物性分析可知,单位为 kg/m^3 ; ρ_g 为目标产水气井气密度,由物性分析可知,单位为 kg/m^3 ;

H_L 为持液率,无单位; e 为管壁绝对粗糙度,管壁分析可知,单位为m; N_{Re} 为两相雷诺数,无单位; q_g 为日产气量,单位为 m^3 ; q_w 为日产水量,单位为 m^3 ; V_{s1} 为液相表观速度,单位为m/s; V_{sg} 为气相表观速度,单位为m/s; μ_w 为水黏度,由物性分析可知,单位为 $mPa \cdot s$; μ_g 为气黏度,由物性分析可知,单位为 $mPa \cdot s$ 。

[0036] 进一步的,所述一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法中,一点

法公式为
$$q_{AOF} = \frac{6q_g}{\sqrt{1 + 48 \frac{p_{min}^2 - p_{wfmin}^2}{p_{min}^2} - 1}}$$
, 其中, q_g 为日产气量,单位为 m^3 ; q_{AOF} 为无阻流量,单

位为 m^3 ; p_{min} 为稳产末期地层压力,单位为MPa; p_{wfmin} 为稳产末期的井底流压,单位为MPa。

[0037] 利用一种强非均质性储层中产水气井的定产量递减预测方法的步骤说明,以某一强非均质产水气井为例,进行气井的定产量生产动态预测,以确定气井的稳产年限。

[0038] 收集该强非均质产水气井生产数据、物性分析数据、储层数据,基于甲型水驱公式拟合得到水驱常数 a 与 b ,得出 $a=4.948$, $b=0.000000046$,如图2所示;采用Blasingame图版法拟合该强非均质产水气井动态储量,为 $518000000m^3$,如图3所示;再基于恢复试井,采用双重介质模型进行数据拟合,得到弹性储容比为0.223,窜流系数为0.00000111,计算出储层的非均质系数为3.4842,如图4所示;采用D-A-K法求得原始地层压力下的偏差因子为1.71;结合水封气物质平衡公式,采用牛顿迭代法计算得出水侵常数为2。再采用Hagedorn-Brown法,求取井口输压下的井底流压为36.918MPa,根据一点法公式计算稳产末期的井底流压下的稳产末期地层压力为44.862MPa;通过时间步长的迭代,得出井底流压随时间的变化曲线,最终得到目标产水气井定产量递减预测曲线,如图5所示;根据定产量递减预测曲线,得出该强非均质产水气井的稳产年限为1.115年。

[0039] 与现有气井定产量预测方法相比,本发明具有以下有益效果:能结合试井分析定量评价储层非均质性,针对强非均质性产水气井的定量生产,对其进行生产预测,得出气井稳产年限,实现强非均质储层产水气井定产量递减预测。

[0040] 最后所应说明的是:以上实施例仅用以说明而非限制本发明的技术方案,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应该理解:依然可以对本发明进行修改或者等同替换,而不脱离本发明的精神和范围的任何修改或局部替换,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

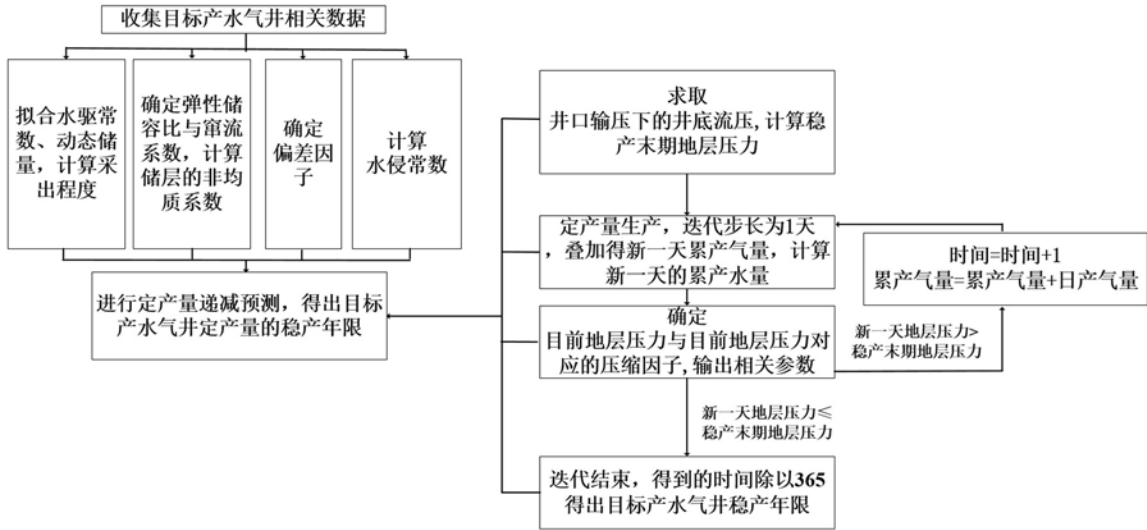


图1

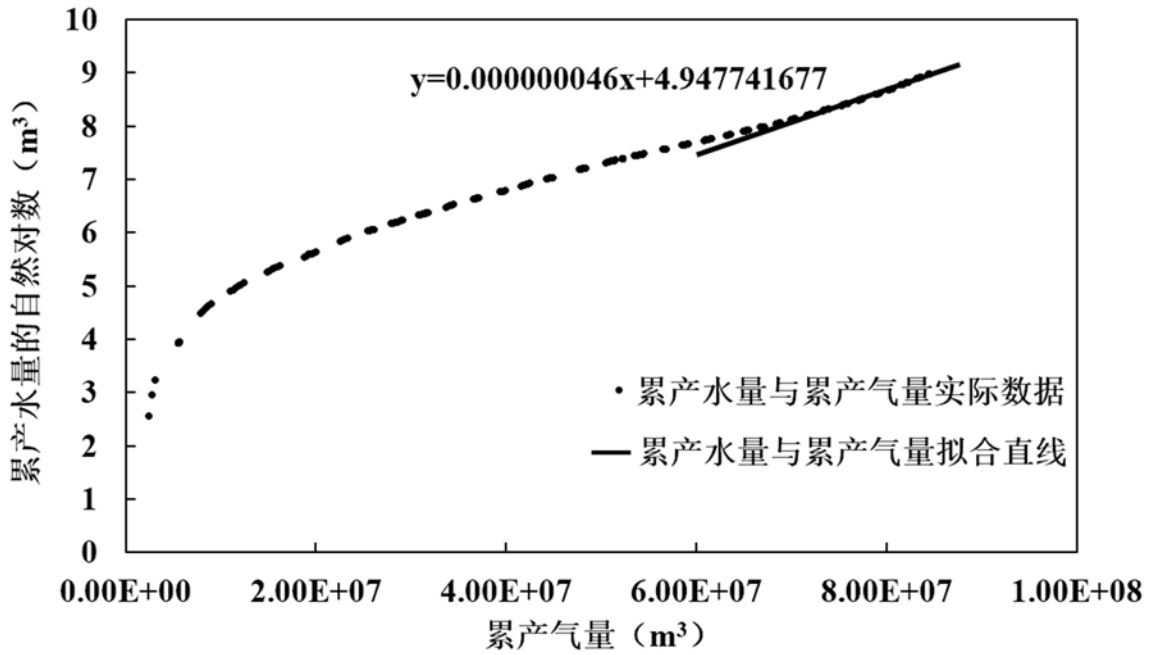


图2

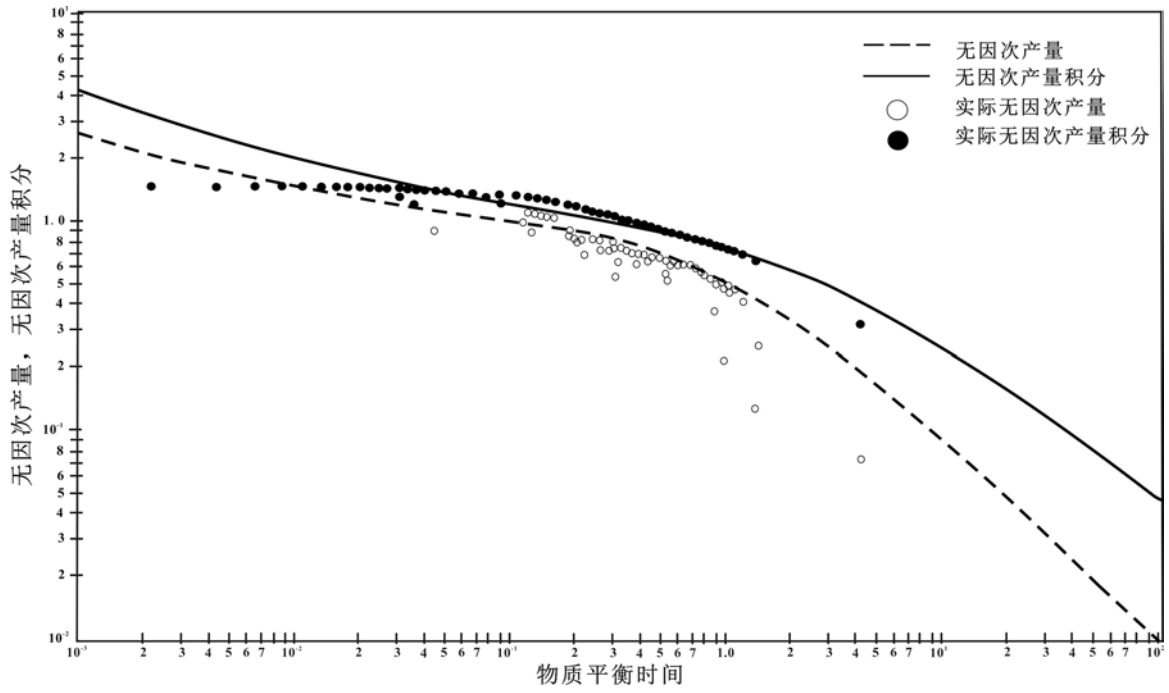


图3

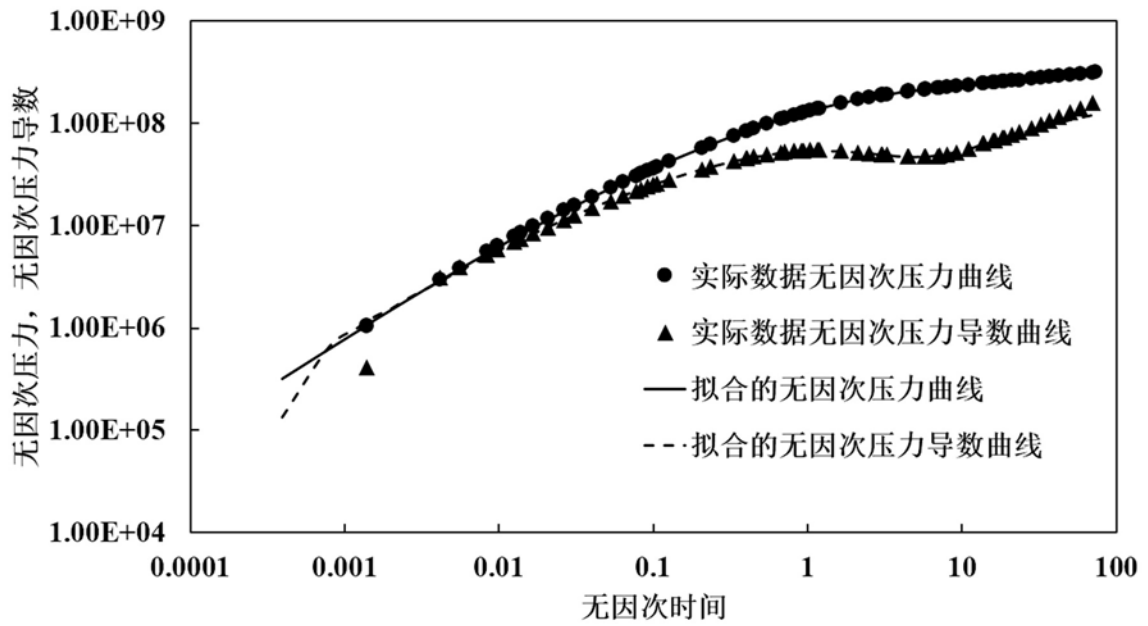


图4

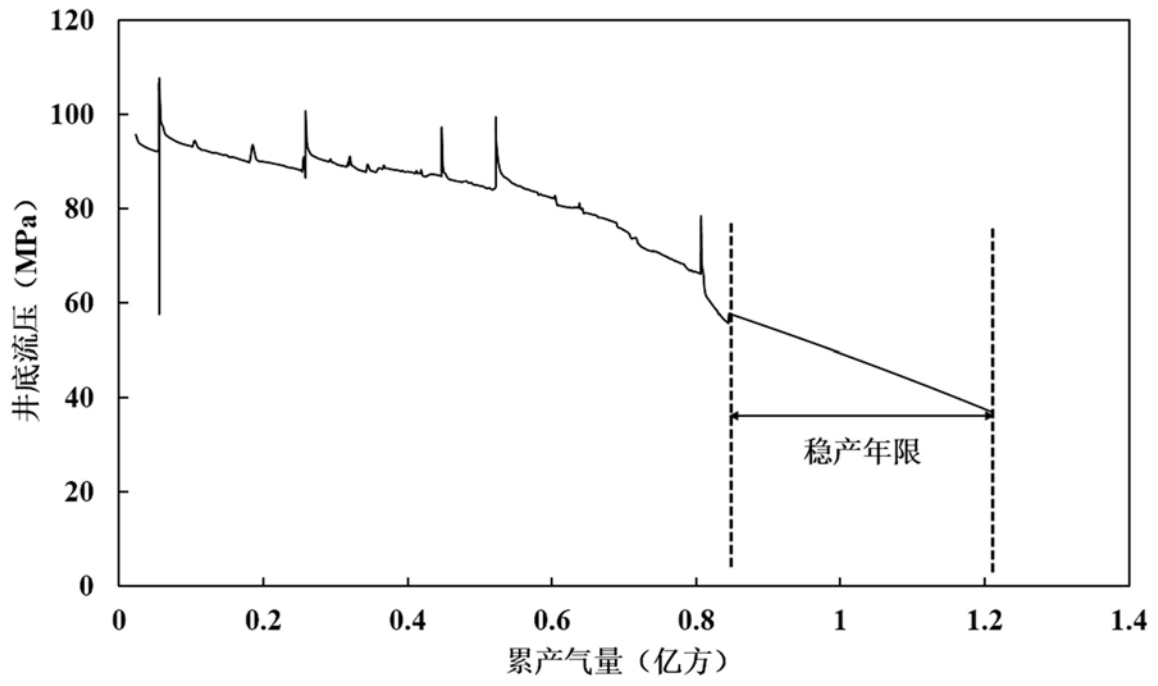


图5