



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104405374 A

(43) 申请公布日 2015. 03. 11

(21) 申请号 201410549776. 9

(22) 申请日 2014. 10. 16

(71) 申请人 中国石油天然气股份有限公司
地址 100007 北京市东城区东直门北大街9号中国石油大厦

(72) 发明人 于孝玉 张英魁 李晓松 王志文
孙胜宇 陈振龙 张慧宇 徐洪明
张菊红 霍宏宇 周萍

(74) 专利代理机构 北京华沛德权律师事务所
11302
代理人 刘杰

(51) Int. Cl.
E21B 49/00(2006. 01)

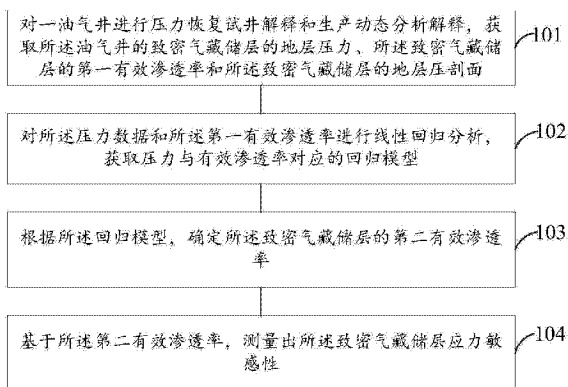
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种致密气藏储层应力敏感性的测量方法

(57) 摘要

本发明公开了一种致密气藏储层应力敏感性的测量方法,对一油气井进行压力恢复试井解释和生产动态分析解释,获取所述油气井的致密气藏储层的地层压力、所述致密气藏储层的第一有效渗透率和所述致密气藏储层的地层压剖面;对所述地层压力剖面和所述第一有效渗透率进行线性回归分析,获取压力与有效渗透率对应的回归模型;根据所述回归模型,确定所述致密气藏储层的第二有效渗透率;基于所述第二有效渗透率,测量出所述致密气藏储层应力敏感性,测量出所述致密气藏储层应力敏感性。



1. 一种致密气藏储层应力敏感性的测量方法,其特征在于,包括:

对一油气井进行压力恢复试井解释和生产动态分析解释,获取所述油气井的致密气藏储层的地层压力、所述致密气藏储层的第一有效渗透率和所述致密气藏储层的地层压剖面;

对所述地层压力剖面和所述第一有效渗透率进行线性回归分析,获取压力与有效渗透率对应的回归模型;

根据所述回归模型,确定所述致密气藏储层的第二有效渗透率;

基于所述第二有效渗透率,测量出所述致密气藏储层应力敏感性。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述获取所述致密气藏储层的第一有效渗透率,具体包括:

基于所述油气井的产气量、径向流动直线段的斜率公式和平面径向流产量公式,获取所述第一有效渗透率。

3. 如权利要求 2 所述的方法,其特征在于,所述基于所述油气井的产气量、径向流动直线段的斜率公式和平面径向流产量公式,获取所述致密气藏储层的第一有效渗透率,具体为:

将所述产气量代入所述斜率公式和所述平面径向流产量公式中,反求平均值,其中,所述平均值为所述第一有效渗透率。

4. 如权利要求 3 所述的方法,其特征在于,所述回归模型,具体为: $K(i) = 0.0018p_r(i) - 0.0161$,其中, $K(i)$ 表示气井有效渗透率; $p_r(i)$ 表示气井地层压力。

5. 如权利要求 4 所述的方法,其特征在于,在所述根据所述回归模型,确定所述致密气藏储层的第二有效渗透率之后,所述方法还包括:

获取所述第二有效渗透率与所述第一有效渗透率的第一平均相对误差值;

在所述第一平均相对误差值大于一预设阈值时,对所述回归模型进行修正,以使得基于修正后的所述回归模型,获取的所述第二有效渗透率与所述第一有效渗透率的第二平均相对误差值不大于所述预设阈值。

一种致密气藏储层应力敏感性的测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及油气开采领域,具体涉及一种致密气藏储层应力敏感性的测量方法。

背景技术

[0002] 现有的在油田开采过程中,地层压力逐渐下降,作用在岩石颗粒上的有效应力增加,这种效应使岩石发生形变,产生应力敏感,使得岩石的渗透率减小,从而影响到流体的流动及产能,给高效、合理地开发带来许多困难和问题,为此,现有技术通常是提取油气井中的低渗透致密岩心,测量所述低渗透致密岩心的有效渗透率,再基于所述低渗透致密岩心的有效渗透率,获取所述油气井的致密气藏储层应力敏感性。

[0003] 但是,现有技术中需要提取所述油气井中的低渗透致密岩心,而提取岩心的成本较高,而且提取的岩心与所油气井的致密气藏储层中的其它岩心有时会存在较大差异,使得通过提取岩心,再对岩心进行分析而获取的所述油气井的致密气藏储层应力敏感性的准确性也不高。

发明内容

[0004] 本发明提供了一种致密气藏储层应力敏感性的测量方法,能够使得测量而得到的致密气藏储层应力敏感性的精确度得以提高,且能够有效降低成本。

[0005] 本申请实施例提供了一种致密气藏储层应力敏感性的测量方法,包括:

[0006] 对一油气井进行压力恢复试井解释和生产动态分析解释,获取所述油气井的致密气藏储层的地层压力、所述致密气藏储层的第一有效渗透率和所述致密气藏储层的地层压力剖面;

[0007] 对所述地层压力剖面 and 所述第一有效渗透率进行线性回归分析,获取压力与有效渗透率对应的回归模型;

[0008] 根据所述回归模型,确定所述致密气藏储层的第二有效渗透率;

[0009] 基于所述第二有效渗透率,测量出所述致密气藏储层应力敏感性。

[0010] 可选的,所述获取所述致密气藏储层的第一有效渗透率,具体包括:

[0011] 基于所述油气井的产气量、径向流动直线段的斜率公式和平面径向流产量公式,获取所述致密气藏储层的第一有效渗透率。

[0012] 可选的,所述基于所述油气井的产气量、径向流动直线段的斜率公式和平面径向流产量公式,获取所述致密气藏储层的第一有效渗透率,具体为:

[0013] 将所述产气量代入所述斜率公式和所述平面径向流产量公式中,反求平均值,其中,所述平均值为所述第一有效渗透率。

[0014] 可选的,所述回归模型,具体为: $K(i) = 0.0018p_R(i) - 0.0161$,其中, $K(i)$ 表示气井有效渗透率; $p_R(i)$ 表示气井地层压力。

[0015] 可选的,在所述根据所述回归模型,确定所述致密气藏储层的第二有效渗透率之后,所述方法还包括:

[0016] 获取所述第二有效渗透率与所述第一有效渗透率的第一平均相对误差值；

[0017] 在所述第一平均相对误差值大于一预设阈值时,对所述回归模型进行修正,以使得基于修正后的所述回归模型,获取的所述第二有效渗透率与所述第一有效渗透率的第二平均相对误差值不大于所述预设阈值。

[0018] 本发明的有益效果如下：

[0019] 基于上述技术方案,本发明实施例中是对一油气井进行压力恢复试井解释和生产动态分析解释,获取所述油气井的致密气藏储层的地层压力、地层压剖面 and 所述第一有效渗透率;对所述地层压力和所述第一有效渗透率进行线性回归分析,获取压力与有效渗透率对应的回归模型;根据所述回归模型,确定所述致密气藏储层的第二有效渗透率;基于所述第二有效渗透率,测量出所述致密气藏储层应力敏感性,如此,使得本申请无需提取岩心,能够使得成本得以降低,进一步的,由于所述回归模型是基于所述地层压力和所述第一有效渗透率来确定的,使得所述回归模型能够与所述致密气藏储层更匹配,进而使得通过所述回归模型获得的所述第二有效渗透率更准确,而所述致密气藏储层应力敏感性是基于所述有效渗透率来测量的,若所述有效渗透率越准确,则使得所述致密气藏储层应力敏感性也越准确,如此,使得本发明获取的所述致密气藏储层应力敏感性的精确度也更高。

附图说明

[0020] 图 1 为本发明实施例中致密气藏储层应力敏感性的测量方法的流程图；

[0021] 图 2 为本发明实施例中第一有效渗透率与地层压力的对应结构图。

具体实施方式

[0022] 本发明提供了一种致密气藏储层应力敏感性的测量方法,能够使得测量而得到的致密气藏储层应力敏感性的精确度得以提高,且能够有效降低成本。

[0023] 下面结合附图对本发明优选的实施方式进行详细说明。

[0024] 如图 1 所示,本发明实施例提供了一种致密气藏储层应力敏感性的测量方法,所述方法包括：

[0025] 步骤 101:对一油气井进行压力恢复试井解释和生产动态分析解释,获取所述油气井的致密气藏储层的地层压力、所述致密气藏储层的第一有效渗透率和所述致密气藏储层的地层压剖面；

[0026] 步骤 102:对所述地层压力和所述第一有效渗透率进行线性回归分析,获取压力与有效渗透率对应的回归模型；

[0027] 步骤 103:根据所述回归模型,确定所述致密气藏储层的第二有效渗透率；

[0028] 步骤 104:基于所述第二有效渗透率,测量出所述致密气藏储层应力敏感性。

[0029] 其中,在步骤 101 中,所述试井解释就是根据油气井的历史数据,包括产气量和压力变化等,结合其它资料,来判断油气藏类型、油气井类型和井底完善程度,并计算气层及油气井的特性参数,如渗透率、储量、地层压力等,以及判断测试井附近的边界情况、井间连通情况等,在对所述油气井进行压力恢复试井解释和生产动态分析解释之后,根据试井解释获取的所述油气井的特性参数,获取所述油气井的致密气藏储层的地层压力和地层压力剖面。

[0030] 具体来讲,在根据所述根据试井解释获取的所述油气井的特性参数之后,可以通过生产分析方法来分析所述油气井的特性参数,获取所述地层压力,在通过所述生产分析方法来分析所述油气井的特性参数时,可以采用 Topaze 软件分析所述油气井的特性参数,拟合出所述油气井的地层压力剖面,下面具体介绍下试井解释的具体实施步骤。

[0031] 具体的,首先对油气井的压力恢复曲线进行处理,根据处理结果,然后用径向流动阶段的点进行线性回归画出直线段,得到斜率,再根据直线斜率求地层参数,所述地层参数包括流动系数、地层系数、有效渗透率和表皮系数,其中,可以由压力恢复曲线进行常规试井解释确定地层参数的公式;再对历史数据进行生产动态分析解释,处理得出绘制所述油气井的压力剖面,

[0032] 流动系数对应的公式为:
$$\frac{Kh}{\mu} = \frac{2.212 \times 10^{-2} qB}{m} \quad \text{公式 (1)}$$

[0033] 地层系数对应的公式为:
$$Kh = \left(\frac{Kh}{\mu} \right) \cdot \mu = \frac{2.212 \times 10^{-2} qB}{m} \mu \quad \text{公式 (2)}$$

[0034] 有效渗透率对应的公式为:
$$K = \left(\frac{Kh}{\mu} \right) \cdot \frac{\mu}{h} = \frac{2.212 \times 10^{-2} q\mu B}{mh} \quad \text{公式 (3)}$$

[0035] 表皮系数对应的公式为:

[0036]
$$S = 1.151 \frac{p_{ws}(\Delta t_0) - p_{ws}(e)}{m} - \lg \frac{K \Delta t_0}{\Phi \mu C_r r_w^2} - 0.9077 + \lg \frac{t_p + \Delta t_0}{t_p} \quad \text{公式 (4)}.$$

[0037] 在具体实施过程中,在对所述油气井进行压力恢复试井解释时,具体可以通过公式 (3),获取所述第一有效渗透率。

[0038] 例如,以 A 油气井为例,根据 A 油气井的历史开采数据,对 A 油气井进行压力恢复试井解释,获取 A 油气井的解释结果,即 A 油气井的特性参数为: $p_R = 29.09 \text{MPa}$ 、 $K = 0.0462 \text{mD}$ 、 $S = 1.97$ 、 $C = 0.0225 \text{m}^3/\text{MPa}$,其中, p_R 表征解释压力, K 表示有效渗透率, S 表示表皮系数, c 表示井筒储集系数,然后通过 Topaze 软件分析 A 油气井的特性参数,拟合出 A 油气井的地层压力剖面。

[0039] 具体来讲,还可以根据所述油气井的产气量、径向流动直线段的斜率公式和平面径向流产量公式,获取所述第一有效渗透率。

[0040] 具体的,可以将所述产气量代入所述斜率公式和所述平面径向流产量公式中,反求平均值,其中,所述平均值为所述第一有效渗透率。

[0041] 例如,在对 A 油气井进行压力恢复试井解释时,获取到有效渗透率为 0.0462mD ,可以 0.0462 为计算标准,将 A 油气井的产气量通过径向流动直线段的斜率公式和平面径向流产量公式反求的平均值,二者平均计算获得所述第一有效渗透率为 0.04642mD ,与试井解释的有效渗透率相对误差 0.48% ,使得通过发求平均值方法也可以获取所述第一有效渗透率,且通过发求平均值方法所述第一有效渗透率与通过所述试井解释方法获取的所述第一有效渗透率的误差很小,使得通过上述两种方法获取的所述第一有效渗透率的精确度都得以提高。

[0042] 接下来执行步骤 102,在该步骤中,对所述地层压力剖面和所述第一有效渗透率进行线性回归分析,获取压力与有效渗透率对应的回归模型。

[0043] 在具体实施过程中,根据试井解释和动态分析时获取的所述油气井的压力曲线,以所述曲线中的某一个地层压力作为分界点;选择小于该地层压力的所述地层压力及其对应的所述第一有效渗透率进行线性回归分析,得出所述回归模型;同样也可以选择大于该地层压力的所述地层压力及其对应的所述第一有效渗透率进行线性回归分析,得出所述回归模型。

[0044] 例如,参见图2,由于图2中A点的地层压力在26.80Mpa时有效渗透率达到最高值为0.0599mD,如此,可以以26.80Mpa有一个分界点,地层压力在26.80Mpa~31.05Mpa区间有效渗透率以斜率-0.0067变小,地层压力在18.14Mpa~26.80Mpa区间有效渗透率以斜率0.0018增加,所以该井地层压力26.80Mpa是一个分界点;又因井采用衰竭式开采,所以选择小于26.80Mpa的地层压力及其对应的有效渗透率进行线性回归分析,可以得到所述回归模型,具体为:

$$[0045] \quad K(i) = 0.0018p_R(i) - 0.0161 \quad \text{公式 (5)}$$

[0046] 其中, $K(i)$ 表示第二有效渗透率; $p_R(i)$ 表示油气井的地层压力, $R = 0.7451$, 其中, R 表示相关系数,当 R 值越接近1时,表示线性关系越密切。

[0047] 当然,还可以选择大于26.80Mpa的地层压力及其对应的有效渗透率进行线性回归分析,可以得到所述回归模型,具体为:

$$[0048] \quad K(i) = 0.0067p_R(i) + 0.2374 \quad \text{公式 (6)}$$

[0049] 其中, $R = 0.788$ 。

[0050] 接下来执行步骤103,在该步骤中,根据所述回归模型,确定所述致密气藏储层的第二有效渗透率。

[0051] 在具体实施过程中,将所述地层压力代入所述回归模型中,计算出所述第二有效渗透率。

[0052] 具体来讲,参见图2,将图2中的所有地层压力在26.80Mpa以下的分布点对应的地层压力代入公式(5)中,获取所述第二有效渗透率,具体如小表1所示。

[0053]

日产气量 ($10^4 \text{m}^3/\text{d}$)	地层压力 (MPa)	第一有效渗透率 (mD)	第二有效渗透率 (公式10) (mD)	相对误差 (%)
2.5505	26.74	0.03552	0.03203	9.82
2.5294	26.68	0.03626	0.03192	11.99
2.5362	26.55	0.03754	0.03169	15.58
2.2205	26.49	0.03296	0.03158	4.17
2.7223	26.43	0.04053	0.03147	22.35
2.7731	26.30	0.04154	0.03123	24.81
2.0996	26.24	0.03155	0.03113	1.34
2.0461	26.13	0.02945	0.03094	5.05
2.0511	26.08	0.02958	0.03085	4.28
1.9877	26.03	0.02833	0.03076	8.59

[0054]

***	***	***	***	8.74 (第一平均相对误差)
-----	-----	-----	-----	--------------------

[0055] 表 1

[0056] 在另一实施例中,在所述根据所述回归模型,确定所述致密气藏储层的第二有效渗透率之后,所述方法还包括:获取所述第二有效渗透率与所述第一有效渗透率的第一平均相对误差值;在所述第一平均相对误差值大于一预设阈值时,对所述回归模型进行修正,以使得基于修正后的所述回归模型,获取的所述第二有效渗透率与所述第一有效渗透率的第二平均相对误差值不大于所述预设阈值,以使得通过所述回归模型获取的所述第二有效渗透率更精确。当然,在所述第一平均相对误差值不大于所述预设阈值时,则执行步骤 104。

[0057] 在具体实施过程中,所述预设阈值为不大于 15% 的值,例如可以为 10%,12% 等,若所述第一平均相对误差值为 10%,且所述预设阈值为 12%,由于 10% < 12%,则执行步骤 104;若所述预设阈值为 9%,由于 10% > 9%,则对所述回归模型进行修正,使得基于修正后的所述回归模型,获得的所述第二平均误差值不大于 9%。

[0058] 例如,参见表 1,根据表 1 中数据可计算出所述第一平均相对误差为 8.74%,若所述预设阈值为 9%,由于 8.74% < 9%,则执行步骤 104。

[0059] 接下来执行步骤 104,在该步骤中,基于所述第二有效渗透率,测量出所述致密气藏储层应力敏感性。

[0060] 在具体实施过程中,根据所述第二有效渗透率和所述地层压力,获取所述地层压力与所述第二有效渗透率的对应关系,基于所述对应关系,测量出所述致密气藏储层应力敏感性。可以得到所述回归模型,具体为:

[0061]
$$p_R(i) = 555.5556K(i) - 8.9444 \quad \text{公式 (7)}$$

[0062] 其中, $p_R(i)$ 表示油气井的地层压力应力敏感性, $K(i)$ 表示有第二效渗透率;

[0063] 当然,还可以选择大于 26.80Mpa 的地层压力及其对应的有效渗透率进行线性回归分析,可以得到所述回归模型,具体为:

[0064]
$$p_R(i) = 149.2537K(i) - 35.4328 \quad \text{公式 (8)}$$

[0065] 利用所述回归模型公式 (7) 和公式 (8) 可测量出所述致密气藏储层应力敏感性。

[0066] 本发明的有益效果如下:

[0067] 本发明实施例中是对一油气井进行压力恢复试井解释,获取所述油气井的致密气藏储层的地层压力和所述第一有效渗透率;对所述地层压力和所述第一有效渗透率进行线性回归分析,获取压力与有效渗透率对应的回归模型;根据所述回归模型,确定所述致密气藏储层的第二有效渗透率;基于所述第二有效渗透率,测量出所述致密气藏储层应力敏感性,如此,使得本申请无需提取岩心,能够使得成本得以降低,进一步的,由于所述回归模型是基于所述地层压力和所述第一有效渗透率来确定的,使得所述回归模型能够与所述致密气藏储层更匹配,进而使得通过所述回归模型获得的所述第二有效渗透率更准确,而所述致密气藏储层应力敏感性是基于所述有效渗透率来测量的,若所述有效渗透率越准确,则使得所述致密气藏储层应力敏感性也越准确,如此,使得本发明获取的所述致密气藏储层应力敏感性的精确度也更高。

[0068] 显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

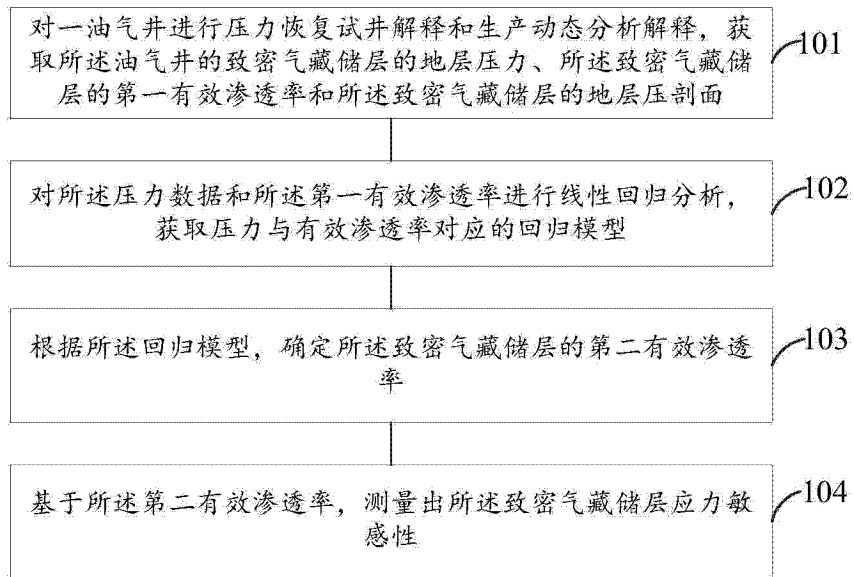


图 1

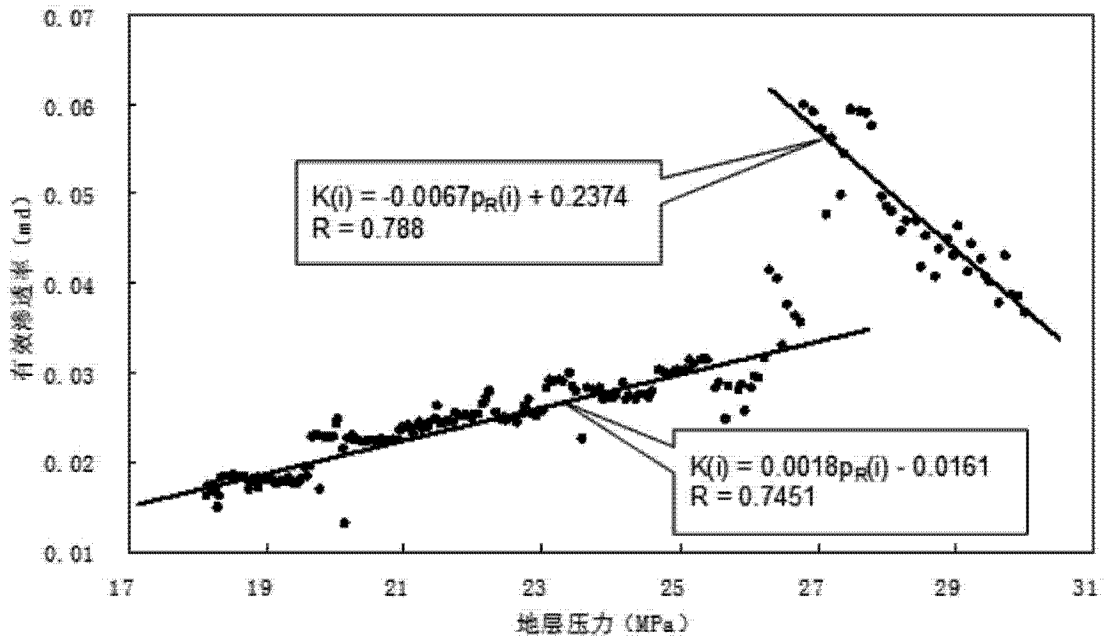


图 2