



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104712299 B

(45)授权公告日 2017.09.01

(21)申请号 201310671081.3

(22)申请日 2013.12.11

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104712299 A

(43)申请公布日 2015.06.17

(73)专利权人 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 李达 白建文 蔺吉春 贾建鹏
牟春国 衣德强 赖海涛 朱李安
邝聃 傅鹏 滕飞启 薛亚斐
朱更更 崔云群

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司
代理人 吴贵明 张永明

(51)Int.Cl.

E21B 43/26(2006.01)

(56)对比文件

CN 102925133 A, 2013.02.13,

CN 102817604 A, 2012.12.12,

CN 103089224 A, 2013.05.08,

CN 102606126 A, 2012.07.25,

CN 101270651 A, 2008.09.24,

李年银等. 裂缝高度延伸诊断与控制技术. 《大庆石油地质与开发》. 2008, 第27卷(第5期),
何平等. 苏里格气田西区控水压裂技术研究及应用. 《石油化工应用》. 2013, 第32卷(第3期),
张平. 低渗透底水油藏压裂技术研究与应用. 《中国博士学位论文全文数据库 工程科技 I 辑》. 2010, (第5期),

审查员 段志慧

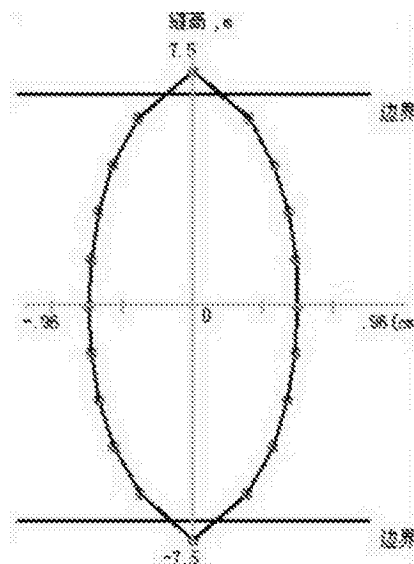
权利要求书2页 说明书3页 附图2页

(54)发明名称

适合气井控水增气压裂的设计方法

(57)摘要

本发明公开了一种适合气井控水增气压裂的设计方法,是为有效地开发含有底水层或上部水层的气井而设计的。本设计方法通过计算机软件模拟计算压裂裂缝高度,得到适合压裂施工的加砂规模和砂比,同时结合优选低粘度的压裂液,控制压裂裂缝的净压力,从而控制缝高的延伸,达到气井控水压裂增气的目的。本设计方法通过利用控制压裂缝高原理、研究岩石力学参数和优选低粘度压裂液进行控水增气压裂,原理可靠,得到的施工排量和裂缝单翼缝长数据精确,成本小,压裂费用低。



1. 一种适合气井控水增气压裂的设计方法,其特征在于:

本设计方法通过计算机软件模拟计算压裂裂缝高度,得到适合压裂施工的加砂规模和砂比,同时结合优选低粘度的压裂液,控制压裂裂缝的净压力,从而控制缝高的延伸,达到气井控水压裂增气的目的,其中,通过计算机软件模拟计算压裂裂缝高度,得到适合压裂施工的加砂规模和砂比的过程包括:

1) 获得储层岩石的静态泊松比和静态弹性模量:静态泊松比和静态弹性模量由静、动态泊松比和静、动态弹性模量的相关式计算而来,或由岩石取芯进行试验测试得出;动态泊松比和动态弹性模量由气井测井得到的岩石密度、纵波时差及横波时差共同计算得出;

岩石的动态剪切模量由下式计算:

$$G_d = k10^9 \frac{\rho_b}{(\Delta t_s)^2}$$

岩石的动态弹性模量由下式计算:

$$E_d = G_d \cdot \frac{3(\Delta t_s)^2 - 4(\Delta t_p)^2}{(\Delta t_s)^2 - (\Delta t_p)^2}$$

岩石的静态弹性模量 (E_s) 与动态弹性模量 (E_d) 之间基本上呈一直线关系,其回归出的相关式为:

$$E_s = aE_d + b$$

岩石的动态泊松比由下式计算:

$$v_d = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\Delta t_s)^2 - 2(\Delta t_p)^2}{(\Delta t_s)^2 - (\Delta t_p)^2}$$

岩石的静态泊松比 (v_s) 与动态弹性模量 (v_d) 之间基本上呈一直线关系,其回归出的相关式为:

$$v_s = cv_d - e$$

以上公式中:

v_d —岩石的动态泊松比,无量纲;

G_d —岩石的动态剪切模量,MPa;

E_d —岩石的动态弹性模量,MPa;

ρ_b —岩石的密度, g/cm^3 ;

Δt_p —岩石的纵波时差, $\mu s/m$;

Δt_s —岩石的横波时差, $\mu s/m$;

k, a, b, c, e —相关性系数,结合各油气田储层的岩石力学参数性质确定;

2) 获得盖层岩石和底层岩石的断裂韧性:通过测井资料计算出岩石的动态弹性模量,再通过岩石的断裂韧性和动态弹性模量的相关性公式计算出盖层岩石和底层岩石的断裂韧性;

$$K_{IC} = fE_d + g$$

K_{IC} —岩石的断裂韧性; $MPa \cdot m^{0.5}$;

E_d —岩石的动态弹性模量,MPa;

f, g —相关性系数,结合各油气田储层的岩石力学参数性质确定;

3) 获得储层上边界的最小主地应力差和储层下边界的最小主地应力差:利用StimPlan压裂分析软件的储层应力分析模块,把测井数据导入该软件进行储层地应力的模拟计算而得出;

$$gr-stress = (i+jA) (0.0098CT-B) + B$$

式中:A—岩石的伽马测井值,API;

B—油藏的压力,MPa;

C—岩石的密度, g/cm^3 ;

T—TVD,井的垂直深度,m;

i、j—为相关性系数,结合各油气田储层的岩石力学参数性质确定;

4) 获得压裂液的性能参数:通过实验室测试得到压裂施工中使用的压裂液的性能参数;

5) 获得裂缝的高度:设置一个初始施工排量和一个初始压裂裂缝的单翼缝长,并将该初始数据与岩石力学参数、压裂液性能参数及施工参数输入《水力压裂裂缝高度预算软件》内,模拟计算压裂裂缝的高度,得到裂缝高度和宽度的分布图;

6) 获得压裂改造的最佳施工排量和最佳裂缝单翼缝长:重复步骤5)的操作,设置多个初始的施工排量和压裂裂缝的单翼缝长,比较多次得到的压裂缝高,在压裂缝高控制最佳时的施工排量和裂缝单翼缝长即为压裂改造的最佳施工排量和最佳裂缝单翼缝长;

7) 获得该井压裂层段的加砂规模和砂比:利用StimPlan压裂分析软件的压裂分析模块,把最佳施工排量和最佳裂缝单翼缝长输入该软件,计算得到该井压裂层段的加砂规模和砂比,即为压裂施工最佳的加砂规模和砂比。

适合气井控水增气压裂的设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种适合气井控水增气压裂的设计方法,属于气田开发技术领域。

背景技术

[0002] 气井纵向上可能存在一些含水气层和水层,若井的压裂改造压开含水层和水层,会造成气井产水。在低渗低压气井中,气井产水会导致井筒积液,进一步降低气井产能。若低产能气井井筒积液严重而无法排出,井会彻底失去产能。因此,在含有底水层或上部水层的气井压裂改造过程中,必须进行控水压裂。防止气井产水和提高气井产能的有效措施是避免改造储层的裂缝延伸到水层。目前,气井控水压裂的方法主要有两种,一种是化学法:即通过注入化学药剂改变岩石的渗透性,使岩石表面形成不渗透的人工遮挡层。这种方法虽有一定的效果,但若化学药剂在裂缝壁面铺置不均或不能形成有效的铺置,形成不了人工遮挡层,会导致控水压裂失败。另一种是物理法:即通过优化施工参数和优化压裂液性能控制压裂缝高的延伸,使裂缝的延伸高度不窜到水层。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种适合气井控水增气压裂的设计方法,以有效地开发含有底水层或上部水层的气井。

[0004] 本设计方法通过计算机软件模拟计算压裂裂缝高度,得到适合压裂施工的加砂规模和砂比,同时结合优选低粘度的压裂液,控制压裂裂缝的净压力,从而控制缝高的延伸,达到气井控水压裂增气的目的。

[0005] 本设计方法通过利用控制压裂缝高原理、研究岩石力学参数和优选低粘度压裂液进行控水增气压裂,原理可靠,得到的施工排量和裂缝单翼缝长数据精确,成本小,压裂费用低。

附图说明

[0006] 图1为储层地应力分析曲线图。

[0007] 图2为单翼缝长为160m时,裂缝高度分布图。

[0008] 图3为单翼缝长为160m时,井底处裂缝宽度分布图。

[0009] 图4为单翼缝长为160m时,井底处与缝端之间裂缝的宽度分布图。

具体实施方式

[0010] 实施例:

[0011] 参照图1至4对本发明的实施例进一步说明:

[0012] 以厚度为13.6m的某气井层为例;

[0013] 本设计方法的具体步骤如下:

[0014] 1) 获得储层岩石的静态泊松比和静态弹性模量:静态泊松比和静态弹性模量由

静、动态泊松比和静、动态弹性模量的相关式计算而来,或由岩石取芯进行试验测试得出;动态泊松比和动态弹性模量由气井测井得到的岩石密度、纵波时差及横波时差共同计算得出;

[0015] 岩石的动态剪切模量由下式计算:

$$[0016] \quad G_d = k10^9 \frac{\rho_b}{(\Delta t_s)^2}$$

[0017] 岩石的动态弹性模量由下式计算:

$$[0018] \quad E_d = G_d \cdot \frac{3(\Delta t_s)^2 - 4(\Delta t_p)^2}{(\Delta t_s)^2 - (\Delta t_p)^2}$$

[0019] 岩石的静态弹性模量 (E_s) 与动态弹性模量 (E_d) 之间基本上呈一直线关系,其回归出的相关式为:

$$[0020] \quad E_s = aE_d + b$$

[0021] 根据此计算例气井所在气田的储层岩石力学参数特点,取a值为0.461,取b值为1647.3,计算出压裂层段地层岩石的静态弹性模量为19680Mpa;

[0022] 岩石的动态泊松比由下式计算:

$$[0023] \quad \nu_d = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\Delta t_s)^2 - 2(\Delta t_p)^2}{(\Delta t_s)^2 - (\Delta t_p)^2}$$

[0024] 岩石的静态泊松比 (ν_s) 与动态弹性模量 (ν_d) 之间基本上呈一直线关系,其回归出的相关式为:

$$[0025] \quad \nu_s = c\nu_d + e$$

[0026] 根据此计算例气井所在气田的储层岩石力学参数特点,取c值为1.166,取e值为0.042,计算出压裂地层静态泊松比为0.301;

[0027] 以上公式中:

[0028] ν_d —岩石的动态泊松比,无量纲;

[0029] G_d —岩石的动态剪切模量,MPa;

[0030] E_d —岩石的动态弹性模量,MPa;

[0031] ρ_b —岩石的密度, g/cm^3 ;

[0032] Δt_p —岩石的纵波时差, $\mu s/m$;

[0033] Δt_s —岩石的横波时差, $\mu s/m$;

[0034] k、a、b、c、e—相关性系数,结合各油气田储层的岩石力学参数性质确定。

[0035] 2) 获得盖层岩石和底层岩石的断裂韧性:通过测井资料计算出岩石的动态弹性模量,再通过岩石的断裂韧性和动态弹性模量的相关性公式计算出盖层岩石和底层岩石的断裂韧性;

$$[0036] \quad K_{IC} = fE_d + g$$

[0037] K_{IC} —岩石的断裂韧性; $MPa \cdot m^{0.5}$;

[0038] E_d —岩石的动态弹性模量,MPa;

[0039] f、g—相关性系数,结合各油气田储层的岩石力学参数性质确定;

[0040] 根据此计算例气井所在气田的储层岩石力学参数特点,取 f 值为 3.42×10^{-6} ,取 g 值为0.462;通过岩心测试实验测得盖层岩石断裂韧性为 $0.56 \text{MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$,底层岩石断裂韧性为 $0.59 \text{MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$ 。

[0041] 3) 获得储层上边界的最小主地应力差和储层下边界的最小主地应力差:利用StimPlan压裂分析软件的储层应力分析模块,把测井数据导入该软件进行储层地应力的模拟计算而得出;

[0042] $gr\text{-stress} = (i+jA) (0.0098CT-B) + B$

[0043] 式中:A—岩石的伽马测井值,API;

[0044] B—油藏的压力,MPa;

[0045] C—岩石的密度, g/cm^3 ;

[0046] T—TVD,井的垂直深度,m;

[0047] i 、 j —为相关性系数,结合各油气田储层的岩石力学参数性质确定;

[0048] 根据此计算例气井所在气田的储层岩石力学参数特点,取 i 值为0.20,取 j 值为0.0031。所得储层上边界的最小主地应力差为8.1MPa,储层下边界的最小主地应力差为9.2MPa。

[0049] 4) 获得压裂液的性能参数:通过实验室测试得到压裂施工中使用的压裂液的性能参数;

[0050] 通过实验室对本井使用的压裂液进行性能测试,得到压裂液流态指数为0.63,稠度系数为 $1848 \text{mPa} \cdot \text{s}^n$,压裂液的综合滤失系数 $0.0009872 \text{m}/\text{min}^{0.5}$,压裂液初漏失系数 $0.0002047 \text{m}^3/\text{m}^2$ 。

[0051] 5) 获得裂缝的高度:设置一个初始施工排量和一个初始压裂裂缝的单翼缝长,并将该初始数据与岩石力学参数、压裂液性能参数及施工参数输入《水力压裂裂缝高度预算软件》内,模拟计算压裂裂缝的高度,得到裂缝高度和宽度的分布图;

[0052] 《水力压裂裂缝高度预算软件》是由中国石油长庆油田分公司苏里格气田研究中心自主研发,该软件可以预测出在一定的地层岩石力学参数、压裂液流变参数、滤失参数及施工排量等条件下的裂缝的三维几何形态。

[0053] 6) 获得压裂改造的最佳施工排量和最佳裂缝单翼缝长:重复步骤5)的操作,设置多个初始的施工排量和压裂裂缝的单翼缝长,比较多次得到的压裂缝高,在压裂缝高控制最佳时的施工排量和裂缝单翼缝长即为压裂改造的最佳施工排量和最佳裂缝单翼缝长;

[0054] 如图2、图3和图4所示,经过多次模拟计算得出,该井控水增气压裂涉及的最佳施工排量为 $2.6 \text{m}^3/\text{min}$,裂缝单翼缝长为160m。

[0055] 7) 获得该井压裂层段的加砂规模和砂比:利用StimPlan压裂分析软件的压裂分析模块,把最佳施工排量和最佳裂缝单翼缝长输入该软件,计算得到该井压裂层段的加砂规模和砂比,即为压裂施工最佳的加砂规模和砂比。

[0056] 通过StimPlan压裂分析软件模拟计算,得出该井压裂层段的加砂规模为 $24\text{--}26 \text{m}^3$,砂比为23-24%。

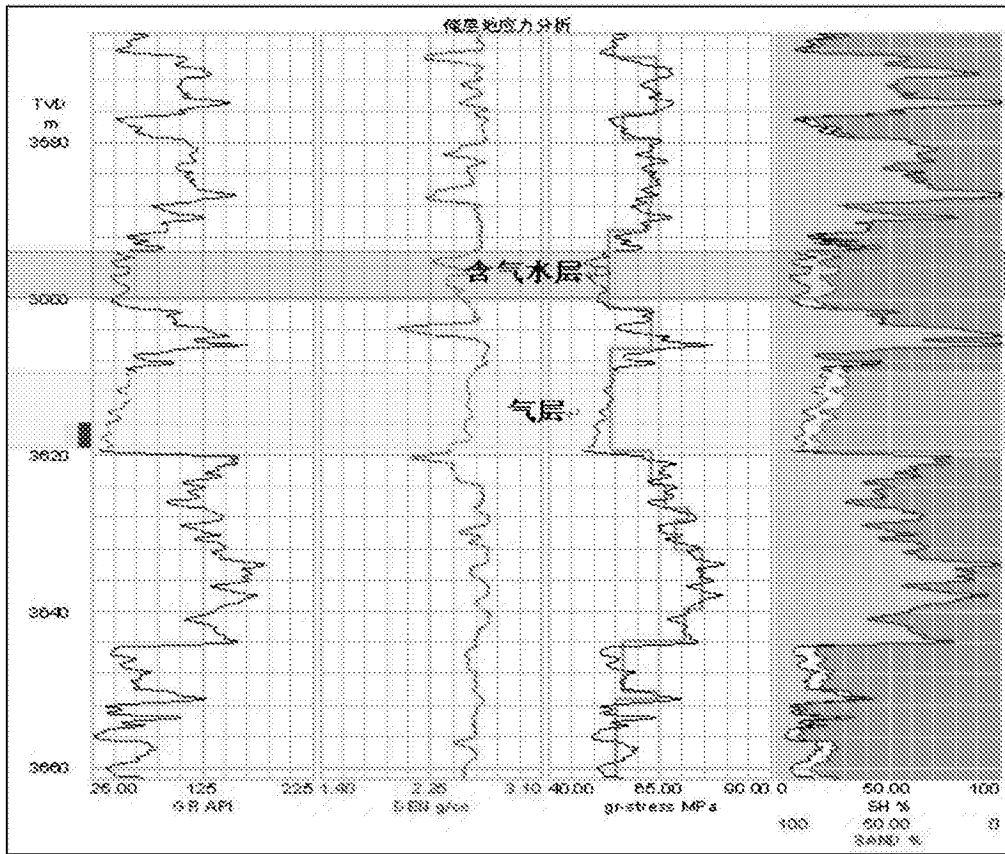


图1

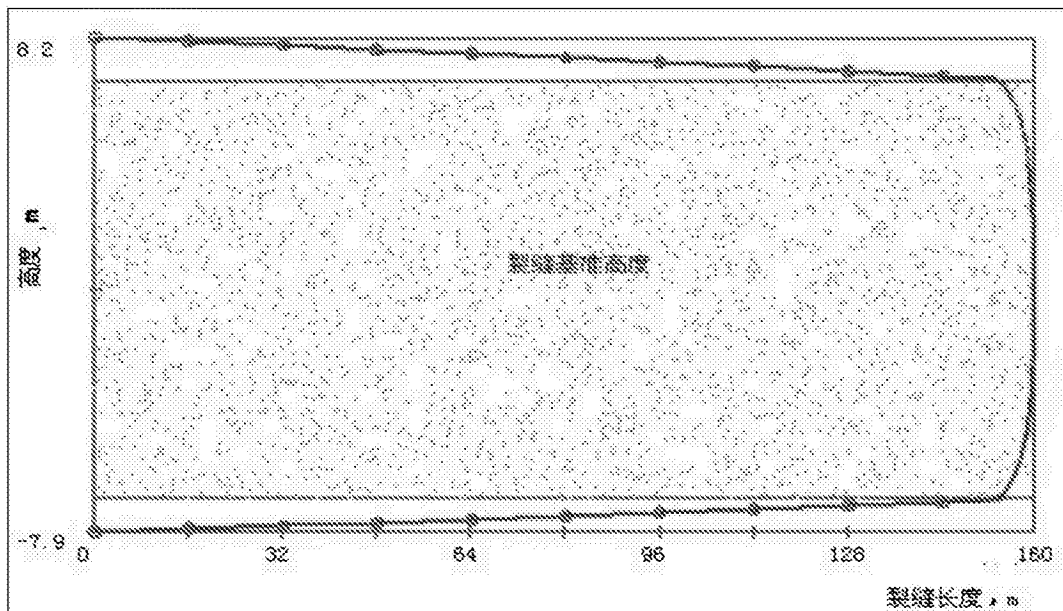


图2

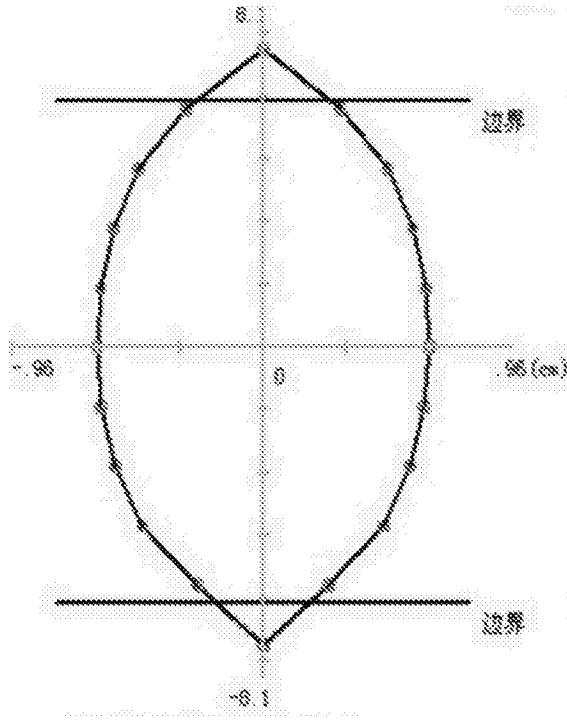


图3

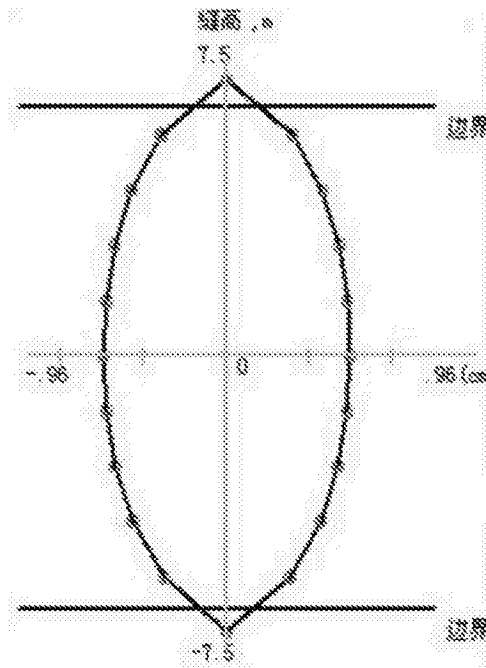


图4