



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105443072 A

(43) 申请公布日 2016. 03. 30

(21) 申请号 201510908056. 1

(22) 申请日 2015. 12. 09

(71) 申请人 中国石油化工股份有限公司

地址 100728 北京市朝阳区朝阳门北大街
22 号

申请人 中国石油化工股份有限公司华北油
气分公司石油工程技术研究院

(72) 发明人 闫吉曾 罗懿 唐万举 李雪
彭明 李林逢

(74) 专利代理机构 郑州睿信知识产权代理有限
公司 41119

代理人 牛爱周

(51) Int. Cl.

E21B 33/13(2006. 01)

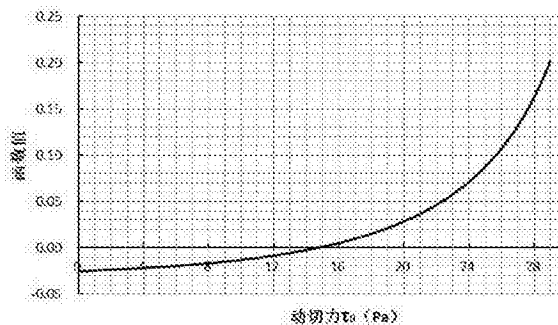
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种水平井油层套管固井方法

(57) 摘要

本发明公开了一种水平井油层套管固井方法,属于石油天然气固井技术领域。本发明根据地层压力确定下套时钻井液密度,在水平段、斜井段和直井段加放扶正器并分段循环钻井液,根据不同流体类型计算水泥浆流变参数和临界排量,在保证替浆过程中实际井口压力不超过上限值的前提下依此注入隔离液和水泥浆,替浆结束后关井候凝。上述水平井套管固井方法能够解决特殊井型(如三维水平井和阶梯状水平井等)油层套管固井质量低的问题,且操作简便,易于现场施工,可大幅降低固井成本,能够为后续储层改造、采油工程施工等提供有力保障。



1. 一种水平井油层套管固井方法, 其特征在于: 包括以下步骤: 钻井后下套管串, 计算水泥浆的临界排量, 依次注入隔离液和水泥浆, 替浆结束后关井候凝, 即可;

所述水泥浆的临界排量的计算方法为:

1) 确定水平井的井底温度和井底压力;

2) 根据流变仪读数计算水泥浆的剪切速率和剪切应力: 首先, 确定水泥浆剪切速率的取值范围, 计算该取值范围所对应的转速的取值范围; 其次, 在上述转速的取值范围内选定流变仪的转速档位, 测定水泥浆在步骤1) 的井底温度和井底压力下、不同转速档位所对应的读数; 再次, 根据流变仪的仪器常数计算水泥浆的剪切速率和剪切应力;

3) 确定水泥浆的流体类型, 计算水泥浆的流变参数;

4) 根据流变参数, 计算得到水泥浆的临界排量。

2. 根据权利要求1所述的水平井油层套管固井方法, 其特征在于: 步骤2) 中水泥浆剪切速率的取值范围为 $135 \sim 550 \text{ s}^{-1}$ 。

3. 根据权利要求2所述的水平井油层套管固井方法, 其特征在于: 步骤2) 中转速的取值范围的计算公式为:

公式1: $\gamma = 1.7023 \Phi$,

式1中: γ 为剪切速率, s^{-1} ; Φ 为转速, r/min 。

4. 根据权利要求3所述的水平井油层套管固井方法, 其特征在于: 步骤2) 中剪切应力的计算公式为:

公式2: $\tau = 0.511\theta$,

式2中: τ 为剪切应力, Pa ; θ 为度数, 格。

5. 根据权利要求4所述的水平井油层套管固井方法, 其特征在于: 当水泥浆的流体类型为赫巴流体, 且选取三组剪切速率及其对应的剪切应力计算水泥浆的临界排量时, 计算步骤如下:

1) 计算水泥浆的流变参数, 公式如下:

$$\text{公式3: } \frac{\ln(\tau_2 - \tau_0) - \ln(\tau_1 - \tau_0)}{\ln(\tau_3 - \tau_0) - \ln(\tau_2 - \tau_0)} - \frac{\ln \gamma_2 - \ln \gamma_1}{\ln \gamma_3 - \ln \gamma_2} = 0,$$

$$\text{公式4: } n = \frac{\ln(\tau_2 - \tau_0) - \ln(\tau_1 - \tau_0)}{\ln \gamma_2 - \ln \gamma_1},$$

$$\text{公式5: } K = \frac{\tau_1 - \tau_0}{\gamma_1^n},$$

式3~5中: τ_0 为动切力, Pa ; γ_1 、 γ_2 和 γ_3 为剪切速率, s^{-1} ; τ_1 、 τ_2 和 τ_3 为与剪切速率相对应的剪切应力, Pa ; n 为流性指数, 无量纲; K 为稠度系数, $\text{Pa} \cdot \text{s}^n$;

2) 计算水泥浆的临界流速, 公式如下:

$$\text{公式6: } av^2 - bv^n - c = 0,$$

$$\text{公式7: } a = 12^{1-n} \rho (D_o - D_i)^n,$$

$$\text{公式8: } b = 2100K \left(\frac{2n+1}{3n} \right)^n,$$

$$\text{公式9: } c = 2100\tau_0 \left(\frac{2n+1}{n+1} \right) \left(\frac{D_o - D_i}{12} \right)^n,$$

式6~9中:a、b和c是过渡参数;v是临界流速,m/s; ρ 为水泥浆密度, kg/m^3 ;D_o为井眼外径,m;D_i为套管外径,m;

3)计算得到水泥浆的临界排量,公式为:

$$\text{公式10: } Q = \frac{\sqrt{\pi}}{4} (D_o^2 - D_i^2),$$

式10中:Q为临界排量, m^3/s ; π 为圆周率。

6.根据权利要求4所述的水平井油层套管固井方法,其特征在于:当水泥浆的流体类型为卡森流体,且选取两组剪切速率及其对应的剪切应力计算水泥浆的临界排量时,计算步骤如下:

1)计算水泥浆的流变参数,公式如下:

$$\text{公式11: } \eta_{\infty} = \left(\frac{\sqrt{\tau_2} - \sqrt{\tau_1}}{\sqrt{\gamma_2} - \sqrt{\gamma_1}} \right)^2,$$

$$\text{公式12: } \tau_c = \left(\sqrt{\tau_1} - \sqrt{\eta_{\infty}\gamma_1} \right)^2,$$

式11~12中: τ_c 为卡森屈服值,Pa; γ_1 、 γ_2 为剪切速率, s^{-1} ; τ_1 、 τ_2 为与剪切速率相对应的剪切应力,Pa; η_{∞} 为极限高剪切黏度,Pa;

2)计算得到水泥浆的临界排量,公式为:

$$\text{公式13: } D_{hy} = D_o - D_i,$$

$$\text{公式14: } \frac{\rho D_{hy} v}{2100\eta_{\infty}} = \left[\left(1 - \frac{\tau_c D_{hy}}{200\eta_{\infty} v} \right)^{0.5} + \frac{6}{5} \left(\frac{\tau_c D_{hy}}{12\eta_{\infty} v} \right)^{0.5} \right]^2,$$

$$\text{公式15: } Q = \frac{\sqrt{\pi}}{4} (D_o^2 - D_i^2),$$

式13~15中, ρ 为水泥浆密度, kg/m^3 ;v是临界流速,m/s;D_{hy}为井眼与套管间隙,m;D_o为井眼外径,m;D_i为套管外径,m;Q为临界排量, m^3/s ; π 为圆周率。

7.根据权利要求1所述的水平井油层套管固井方法,其特征在于:所述钻井前根据地层压力测量值或预测值确定钻井液密度,钻井液密度当量值小于地层压力测量值或预测值。

8.根据权利要求1所述的水平井油层套管固井方法,其特征在于:所述下套管串时分别在水平段、斜井段、直径段加放扶正器,浮鞋后连续加放2只扶正器,水平段每3根套管加放2只扶正器,斜井段每3根套管加放1只扶正器,直井段每10根套管加放1只扶正器。

9.根据权利要求1所述的水平井油层套管固井方法,其特征在于:所述隔离液的段长不小于150m,以紊流流速注入,紊流时间从隔离液出套管至A靶点以上。

10.根据权利要求1所述的水平井油层套管固井方法,其特征在于:所述关井候凝的时间不小于48小时。

一种水平井油层套管固井方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种水平井油层套管固井方法,属于石油天然气固井技术领域。

背景技术

[0002] 在水平井完井作业中,为保持油气井长期稳产及后期增产作业顺利实施,一般采用套管固井方式完井。随着钻井技术的不断进步,更为复杂的三维水平井丛式井组出现(或称为“井工厂”),然而不论是二维水平井完井作业还是三维水平井完井作业,均给油层套管固井技术带来较大挑战。主要体现在油层套管下入困难、顶替效率低、顶替排量不易控制等,其结果往往是固井质量差强人意。

[0003] 目前,指导水平井油层套管固井设计的重要参考资料是石油天然气行业标准《固井设计规范》(SY/T 5480-2007),但是该规范中仅列出两种水泥浆流体类型(宾汉流体和幂律流体),常与实际作业中水泥浆流变性不符。而参照该规范设计的固井参数,会引起压耗、泵排量计算误差增大,最终导致固井作业中水泥浆顶替效率下降。为此,一些油田研究开发出旋转尾管技术,但是该措施会大幅增加作业成本,不利于推广应用。实际钻采中对于渗透率、孔隙度和地层压力低同时单井产量不高的油气田,一般采用低成本开发策略,而降低固井作业成本才能提高开发效益。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种水平井油层套管固井方法,以解决水平井油层套管固井质量低、成本高的问题。

[0005] 为了实现以上目的,本发明所采用的技术方案是:

[0006] 一种水平井油层套管固井方法,包括以下步骤:钻井后下套管串,计算水泥浆的临界排量,依次注入隔离液和水泥浆,替浆结束后关井候凝,即可;

[0007] 所述水泥浆的临界排量的计算方法为:

[0008] 1)确定水平井的井底温度和井底压力;

[0009] 2)根据流变仪读数计算水泥浆的剪切速率和剪切应力:首先,确定水泥浆剪切速率的取值范围,计算该取值范围所对应的转速的取值范围;其次,在上述转速的取值范围内选定流变仪的转速档位,测定水泥浆在步骤1)的井底温度和井底压力下、不同转速档位所对应的读数;再次,根据流变仪的仪器常数计算水泥浆的剪切速率和剪切应力;

[0010] 3)确定水泥浆的流体类型,计算水泥浆的流变参数;

[0011] 4)根据流变参数,计算得到水泥浆的临界排量。

[0012] 步骤1)中根据温度测井数据,确定井底温度。

[0013] 步骤1)中先根据井眼轨迹测量工具测量井眼轨迹,确定井底垂深,再根据地质和工程要求,确定水泥浆不同浆体封固段及相应的垂深,计算井底压力。

[0014] 步骤2)中水泥浆剪切速率的取值范围为 $135\sim 550\text{s}^{-1}$ 。这是因为水泥浆紊流时实测剪切速率落在上述范围的权重较大(占八成以上)。

[0015] 步骤2)中根据流变仪的仪器常数,计算转速的取值范围。如为六速流变仪,计算公式见公式1。

[0016] 公式1: $\gamma = 1.7023\Phi$,

[0017] 式1中: γ 为剪切速率, s^{-1} ; Φ 为转速, r/min 。

[0018] 步骤2)中流变仪为六速流变仪时,剪切速率的计算公式见上述公式1,剪切应力的计算公式见公式2。

[0019] 公式2: $\tau = 0.511\theta$,

[0020] 式2中: τ 为剪切应力, Pa ; θ 为度数, 格。

[0021] 步骤3)中可根据水泥浆的流体类型,参照现有公式(如国标SY/T 5480-2007)计算水泥浆的流变参数。判断水泥浆的流体类型可采用模糊贴近度评价方法(如欧几里得贴近度评价方法),贴近度数值大者对应的流体类型即为该水泥浆的流体类型。流体类型包括宾汉流体、幂律流体、赫巴流体和卡森流体等。在水平井实际固井作业中,赫巴流体或卡森流体(尤其是赫巴流体类型)的贴近度一般较大,据此设计的固井水泥浆参数与实际水泥浆需求状况较为接近,因此这两种流体类型对指导水平井固井水泥浆流变学设计意义重大。

[0022] 当水泥浆的流体类型为赫巴流体时,可参照赫巴流体计算公式计算水泥浆的流变参数。本发明提供一组采用三组剪切速率及其对应的剪切应力计算水泥浆流变参数的公式,见公式3~5,流变参数包括切动力、流性指数和稠度系数。对应的,水泥浆临界流速的计算公式见公式6~9,在计算临界流速之前,先根据上述计算得到的流变参数计算过渡参数 a 、 b 和 c ; 临界排量的计算公式见公式10。

[0023] 公式3:
$$\frac{\ln(\tau_2 - \tau_0) - \ln(\tau_1 - \tau_0)}{\ln(\tau_3 - \tau_0) - \ln(\tau_2 - \tau_0)} - \frac{\ln \gamma_2 - \ln \gamma_1}{\ln \gamma_3 - \ln \gamma_2} = 0,$$

[0024] 公式4:
$$n = \frac{\ln(\tau_2 - \tau_0) - \ln(\tau_1 - \tau_0)}{\ln \gamma_2 - \ln \gamma_1},$$

[0025] 公式5:
$$K = \frac{\tau_1 - \tau_0}{\gamma_1^n},$$

[0026] 式3~5中: τ_0 为动切力, Pa ; γ_1 、 γ_2 和 γ_3 为剪切速率, s^{-1} ; τ_1 、 τ_2 和 τ_3 为与剪切速率相对应的剪切应力, Pa ; n 为流性指数, 无量纲; K 为稠度系数, $Pa \cdot s^n$ 。

[0027] 公式6: $av^2 - bv^n - c = 0$,

[0028] 公式7: $a = 12^{1-n} \rho (D_o - D_i)^n$,

[0029] 公式8: $b = 2100K \left(\frac{2n+1}{3n} \right)^n$,

[0030] 公式9: $c = 2100\tau_0 \left(\frac{2n+1}{n+1} \right) \left(\frac{D_o - D_i}{12} \right)^n$,

[0031] 式6~9中: a 、 b 和 c 是过渡参数; v 是临界流速, m/s ; ρ 为水泥浆密度, kg/m^3 ; D_o 为井眼外径, m ; D_i 为套管外径, m 。

[0032] 公式10: $Q = \frac{v\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2)$,

[0033] 式10中: Q 为临界排量, m^3/s ; π 为圆周率。

[0034] 当水泥浆的流体类型为卡森流体时,可参照卡森流体计算公式计算水泥浆的流变参数。本发明提供一组采用两组剪切速率及其对应的剪切应力计算水泥浆流变参数的公式,见公式11~12,流变参数包括极限高剪切黏度和卡森屈服值。再根据流变参数计算水泥浆的临界排量,见公式13~15。

$$[0035] \quad \text{公式11: } \eta_{\infty} = \left(\frac{\sqrt{\tau_2} - \sqrt{\tau_1}}{\sqrt{\gamma_2} - \sqrt{\gamma_1}} \right)^2,$$

$$[0036] \quad \text{公式12: } \tau_c = \left(\sqrt{\tau_1} - \sqrt{\eta_{\infty} \gamma_1} \right)^2,$$

[0037] 式11~12中: τ_c 为卡森屈服值,Pa; γ_1 、 γ_2 为剪切速率, s^{-1} ; τ_1 、 τ_2 为与剪切速率相对应的剪切应力,Pa; η_{∞} 为极限高剪切黏度,Pa。

$$[0038] \quad \text{公式13: } D_{hy} = D_o - D_i,$$

$$[0039] \quad \text{公式14: } \frac{\rho D_{hy} v}{2100 \eta_{\infty}} = \left[\left(1 - \frac{\tau_c D_{hy}}{200 \eta_{\infty} v} \right)^{0.5} + \frac{6}{5} \left(\frac{\tau_c D_{hy}}{12 \eta_{\infty} v} \right)^{0.5} \right]^2,$$

$$[0040] \quad \text{公式15: } Q = \frac{v \pi}{4} (D_o^2 - D_i^2),$$

[0041] 式13~15中, ρ 为水泥浆密度, kg/m^3 ; v 是临界流速, m/s ; D_{hy} 为井眼与套管间隙, m ; D_o 为井眼外径, m ; D_i 为套管外径, m ; Q 为临界排量, m^3/s ; π 为圆周率。

[0042] 所述钻井前需根据地层压力测量值或预测值确定钻井液密度,并确定通井管柱组合。钻井液密度当量值应当小于地层压力测量值或预测值。钻井液中需加入润滑剂(1.5~2.5%石墨润滑剂+2~3%液体润滑剂),如石墨和粒径小于0.3mm的塑料小球,保证加入润滑剂后钻井液的粘滞系数小于0.05。通井管柱的刚度应当大于或等于油层套管管柱刚度。钻井过程中,可分段循环钻井液至振动筛无明显岩屑返出,且实测摩阻系数小于0.40。分段循环钻井液的步骤为:下至A靶点时循环钻井液,下至B靶点时再循环钻井液。

[0043] 所述下套管串前需确定套管串结构,并分别在水平段、斜井段、直径段加放扶正器。例如浮鞋后连续加放2只扶正器,水平段每3根套管加放2只扶正器(加放方法是连续2根套管加放2只扶正器),斜井段每3根套管加放1只扶正器(刚性扶正器和弹性扶正器间隔加放),直井段每10根套管加放1只扶正器。浮鞋后和直井段加放的扶正器均为弹性扶正器,水平段为旋流树脂扶正器,斜井段为弹性扶正器和刚性扶正器。

[0044] 所述隔离液(即前置液)为第一段入井流体,段长不小于150m。注入过程中流速达到紊流流速,紊流时间从隔离液出套管至A靶点以上。

[0045] 所述水泥浆(固井用)为第二段入井流体,分为低密度水泥浆(如密度1.30~1.45g/cm³)、高密度尾浆(如密度1.89~1.92g/cm³)等。低密度水泥浆返至井口(地面),高密度尾浆返至油层顶界以上垂深段长200m及以上。

[0046] 所述替浆的过程中需控制泵排量,使实际井口压力不超过设定值上限(由地层漏失压力和破裂压力确定)。

[0047] 所述关井候凝的时间不小于48小时。

[0048] 本发明的有益效果:

[0049] 本发明根据地层压力确定下套时钻井液密度,在水平段、斜井段和直井段加放扶

正器并分段循环钻井液,根据不同流体类型计算水泥浆流变参数和临界排量,在保证替浆过程中实际井口压力不超过上限值的前提下依此注入隔离液和水泥浆,替浆结束后关井候凝。上述水平井套管固井方法能够解决特殊井型(如三维水平井和阶梯状水平井等)油层套管固井质量低的问题,且操作简便,易于现场施工,可大幅降低固井成本,能够为后续储层改造、采油工程施工等提供有力保障。

[0050] 本发明在已知水泥浆剪切速率取值范围的前提下,根据流变仪的仪器常数计算上述剪切速率取值范围所对应的转速的取值范围,在转速取值范围内选定流变仪的转速档位,测定水泥浆在井底温度和井底压力条件下不同转速档位所对应的读数,计算水泥浆的剪切速率和剪切应力,再根据水泥浆的流体类型计算流变参数,通过解非线性方程得到临界流速,从而确定水泥浆的临界排量。计算得到的水泥浆的临界排量符合现场水泥浆实际情况,有助于提高固井质量,可指导固井水泥浆流变学设计。

附图说明

- [0051] 图1为本发明实施例1中实钻井身结构图;
[0052] 图2为邻井地层压力剖面;
[0053] 图3为尾浆动切力函数曲线图;
[0054] 图4为双井径测井曲线图。

具体实施方式

[0055] 下述实施例仅对本发明作进一步详细说明,但不构成对本发明的任何限制。

[0056] 实施例1

[0057] 以华北分公司红河油田一口水平井为例,该井是一口二维水平井,实钻基本情况如下:一开采用 $\Phi 311.2\text{mm}$ 钻头钻进至303m,下入 $\Phi 244.5\text{mm}$ 表层套管至302.91m,进行表层套管固井;二开采用 $\Phi 215.9\text{mm}$ 钻头钻进至3149m完钻,水平段长911.80m,拟下入外径 $\Phi 139.7\text{mm}$,钢级N80,壁厚7.72mm的油层套管(实钻井身结构示意图见图1)。

[0058] 本实施例中水平井油层套管固井方法,包括以下步骤:

[0059] (1)根据该井储层长8地层压力系数0.96(邻井地层压力剖面见图2),确定下套时钻井液密度为 $1.08\text{g}/\text{cm}^3$,并在钻井液中加入润滑剂,测定钻井液粘滞系数为0.0482;

[0060] (2)确定通井管柱组合: $\Phi 215.9\text{mm}$ 牙轮钻头+ $\Phi 158.8\text{mm}$ 无磁钻铤9m+ $\Phi 214\text{mm}$ 稳定器+ $\Phi 127\text{mm}$ 加重钻杆3柱+ $\Phi 127\text{mm}$ 斜台阶钻杆+ $\Phi 127\text{mm}$ 加重钻杆300m+ $\Phi 127\text{mm}$ 斜台阶钻杆,通井过程中分段循环钻井液,下至A靶点循环钻井液1周,下至B靶点循环钻井液2周,振动筛无明显岩屑返出,再通过上提下放管柱,根据管柱重量和井口悬重,实测摩阻系数小于0.387;

[0061] (3)确定套管串结构:浮鞋后连续加放2只弹性扶正器,水平段每3根套管加放2只旋流树脂扶正器(加放方法是连续2根套管加放2只扶正器),斜井段每3根套管加放1只扶正器,且刚性扶正器和弹性扶正器间隔加放,直井段每10根套管加放1只弹性扶正器,分段循环钻井液,当套管下入至A靶点时,开泵循环钻井液1周,套管下入至B靶点时循环钻井液2周;

[0062] (4)利用范氏35型六速旋转流变仪(常温常压六速粘度计)对配置好的水泥浆进行

测量,利用密度计测得低密度水泥浆密度为 $1.35\text{g}/\text{cm}^3$,尾浆密度为 $1.90\text{g}/\text{cm}^3$,低密度水泥浆度数和尾浆度数见下表1和表2;

[0063] 表1低密度水泥浆度数

[0064]

转速 Φ (r/min)	3	6	100	200	300	600
读数 θ (格)	8	10	14	16	25	35

[0065] 表2尾浆度数

[0066]

转速 Φ (r/min)	3	6	100	200	300	600
读数 θ (格)	27	29	67	99	129	192

[0067] 根据旋转粘度计仪器常数,转换为相应的剪切应力 τ 和剪切速率 γ ,转换关系见公式1-2(见《固井设计规范》SY/T 5480-2007):

[0068] 公式1: $\gamma = 1.7023\Phi$,

[0069] 式1中: γ 为剪切速率, s^{-1} ; Φ 为转速,r/min;

[0070] 公式2: $\tau = 0.511\theta$,

[0071] 式2中: τ 为剪切应力,Pa; θ 为度数,格;

[0072] 转换结果如下表3、表4所示;

[0073] 表3低密度水泥浆剪切速率和剪切应力

[0074]

剪切速率/ s^{-1}	5.1069	10.2138	170.23	340.46	510.69	1021.38
剪切应力/Pa	4.088	5.11	7.154	8.176	12.775	17.885

[0075] 表4尾浆剪切速率和剪切应力

[0076]

剪切速率/ s^{-1}	5.1069	10.2138	170.23	340.46	510.69	1021.38
剪切应力/Pa	13.797	14.819	34.237	50.589	65.919	98.112

[0077] (5)根据步骤4中数据,利用欧几里得贴适度评价方法,计算得到赫巴流体贴适度数值最大,确定低密度水泥浆和尾浆的流体类型为赫巴流体类型;

[0078] (6)根据固井实践判断水泥浆的紊流剪切速率在 $135\text{s}^{-1} \sim 550\text{s}^{-1}$ 之间,选用100r/min、200r/min和300r/min转速对应的剪切速率和剪切应力数据,根据公式3-5计算低密度水泥浆和尾浆的流变参数,其中低密度水泥浆流变参数为: $\tau_0 = 13.0407$, $n = 0.8484$, $K = 0.2124$,尾浆流变参数为: $\tau_0 = 14.6534$, $n = 0.8758$, $K = 0.2178$,尾浆动切力函数曲线图见图3;

[0079] 公式3:
$$\frac{\ln(\tau_2 - \tau_0) - \ln(\tau_1 - \tau_0)}{\ln(\tau_3 - \tau_0) - \ln(\tau_2 - \tau_0)} - \frac{\ln \gamma_2 - \ln \gamma_1}{\ln \gamma_3 - \ln \gamma_2} = 0,$$

[0080] 公式4:
$$n = \frac{\ln(\tau_2 - \tau_0) - \ln(\tau_1 - \tau_0)}{\ln \gamma_2 - \ln \gamma_1},$$

[0081] 公式5:
$$K = \frac{\tau_1 - \tau_0}{\gamma_1^n},$$

[0082] 式3-5中: τ_0 为动切力,Pa; γ_1 、 γ_2 和 γ_3 为剪切速率, s^{-1} ; τ_1 、 τ_2 和 τ_3 为与剪切速率相

对应的剪切应力,Pa;n为流性指数,无量纲;K为稠度系数, $\text{Pa} \cdot \text{s}^n$;

[0083] (7)根据完钻后双井径测井数据(双井径测井曲线图见图4)确定井径扩大率为6.34%,计算得出实际井眼外径为330.88mm,再基于步骤(6)的数据,根据公式6-10计算水泥浆的临界紊流排量为29.25L/s;

[0084] 公式6: $av^2-bv^n-c=0$,

[0085] 公式7: $a=12^{1-n}\rho(D_o-D_i)^n$,

[0086] 公式8: $b=2100K\left(\frac{2n+1}{3n}\right)^n$,

[0087] 公式9: $c=2100\tau_0\left(\frac{2n+1}{n+1}\right)\left(\frac{D_o-D_i}{12}\right)^n$,

[0088] 式6-9中:a、b和c是过渡参数;v是临界流速,m/s; ρ 为水泥浆密度, kg/m^3 ;D_o为井眼外径,m;D_i为套管外径,m;

[0089] 公式10: $Q=\frac{v\pi}{4}(D_o^2-D_i^2)$,

[0090] 式10中:Q为临界排量, m^3/s ; π 为圆周率;

[0091] (8)泵入隔离液(前置液),段长为200m,注浆过程中流速达到2.37m/s,紊流时间超过10分钟;

[0092] (9)泵入低密度水泥浆和高密度尾浆,低密度水泥浆返至井口(地面),尾浆返至油层顶界以上垂深段长209m;

[0093] (10)根据红河油田地层压力系数0.96和漏失压力系数1.13设定井口压力上限值为9MPa,通过变排量压力节点控制井口压力小于9MPa;

[0094] (11)替浆结束后,关井侯凝48小时,侯凝48小时后进行固井质量电测,测得声幅值小于15%,固井质量优质。

[0095] 本发明水平井油层套管固井方法在中石化华北分公司鄂南探区取得了良好的应用效果,其中水平井油层套管固井201口,优秀及良好井169口,合格井32口,固井优良率84.08%,三维水平井油层套管固井4口,优秀及良好井3口,合格井1口,固井优良率75%。

[0096] 最后应当说明的是:以上实施例仅用以说明而非限定本发明的技术方案。尽管上述实施例对本发明进行了详细说明,但是本领域普通技术人员依然可以对发明的技术方案进行修改或者等同替换。而不脱离本发明精神范畴的任意修改或局部替换,均应涵盖在本发明权利要求的保护范围内。

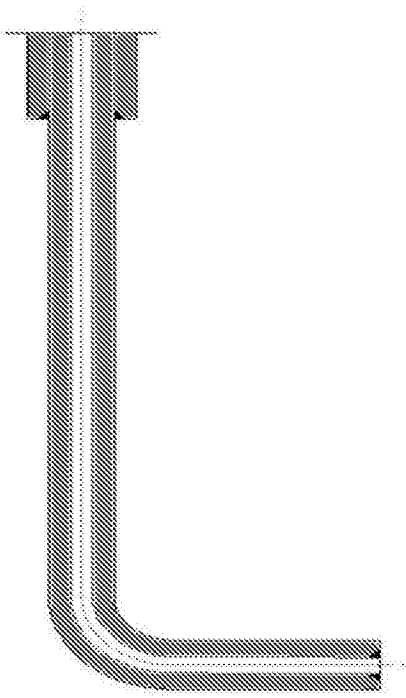


图1

井深 (m)	地质分层	F _p (g/cm ³)	
		0.5	1.5
50	第四系Q		
290			
530			
770			
1010	白垩系志丹群K1		
1250			
1490	侏罗系直罗组J3		
1730	侏罗系延安组J1		
1970			
2210	三叠系延长组T3		
2450			

图2

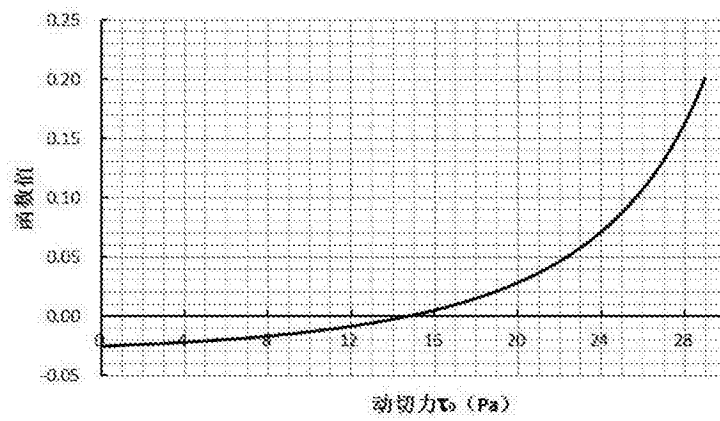


图3

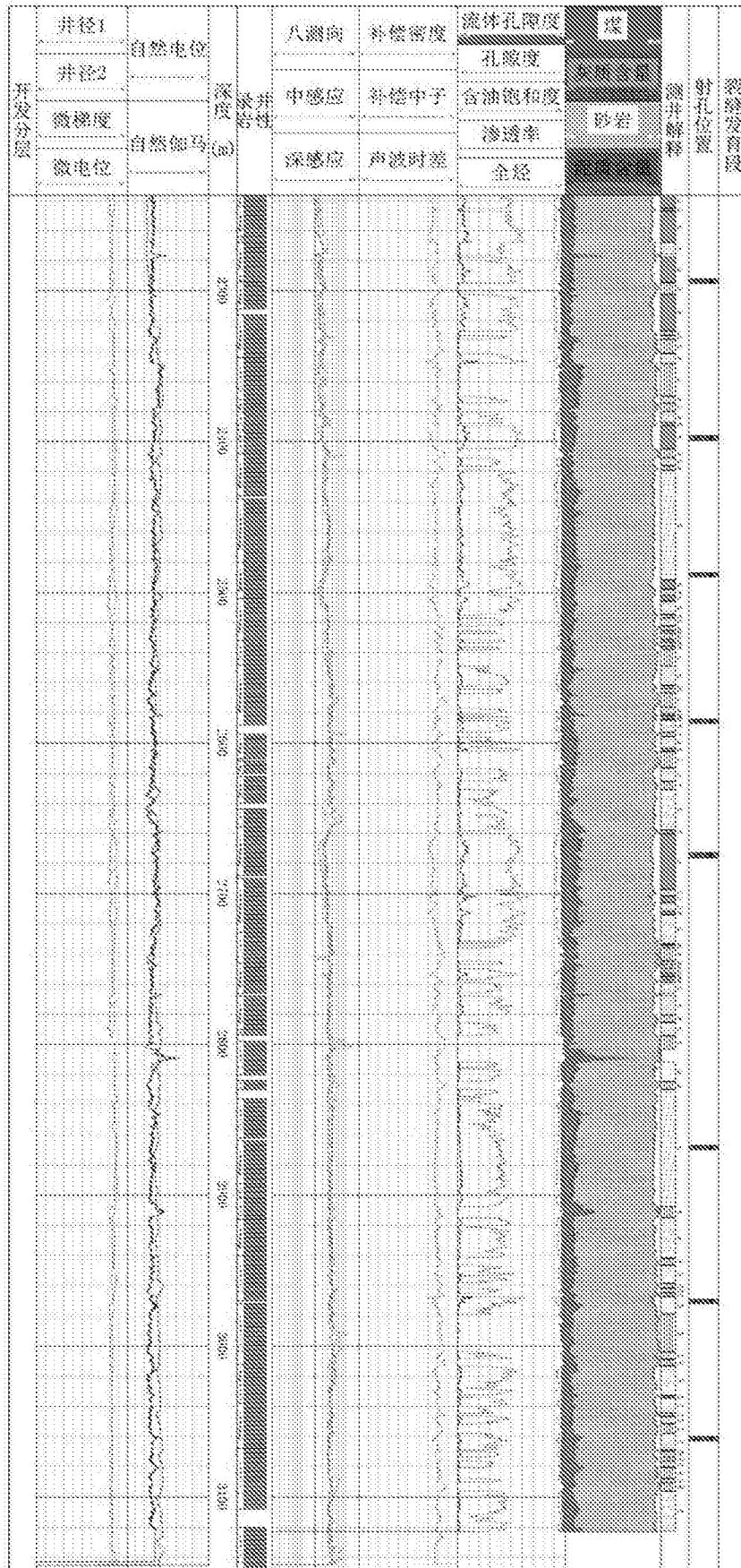


图4