



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105696997 B

(45)授权公告日 2018.07.17

(21)申请号 201610195661.3

(22)申请日 2016.03.31

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105696997 A

(43)申请公布日 2016.06.22

(73)专利权人 中国石油大学(北京)

地址 102200 北京市昌平区府学路18号

(72)发明人 于海洋 朱常玉 程时清 马恬

(74)专利代理机构 北京驰纳智财知识产权代理

事务所(普通合伙) 11367

代理人 孙海波

(51)Int.Cl.

E21B 43/26(2006.01)

E21B 43/20(2006.01)

E21B 43/16(2006.01)

(56)对比文件

CN 105114048 A,2015.12.02,说明书实施例3、附图3-4.

CN 105041282 A,2015.11.11,说明书53-60段.

CN 105332678 A,2016.02.17,全文.

US 5085276 A,1992.02.04,全文.

审查员 王军伟

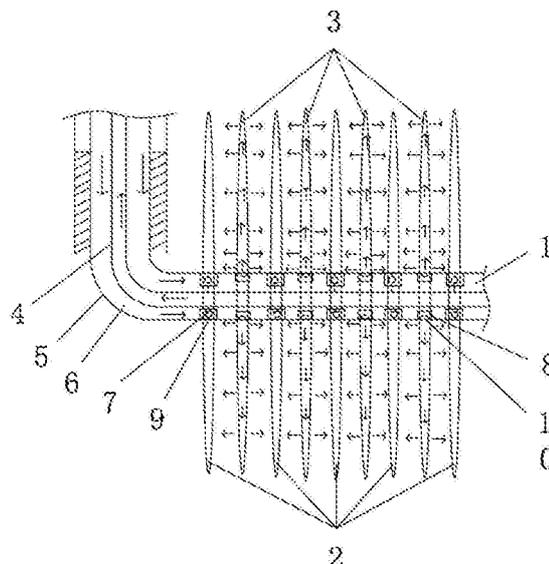
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法

(57)摘要

本发明涉及一种多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法,包括以下步骤:对水平井井筒进行分段压裂,形成多条垂直于水平井井筒的压裂裂缝;在每一条奇数级裂缝的位置分别设置单向阀,在每一条偶数级裂缝的位置分别设置配注阀;先利用天然能量开采一段时间,再利用间隔裂缝注水吞吐开采,自动关闭单向阀,自动开启配注阀,同时向油套环形空间内注水进行驱替,注入水进入偶数级裂缝;焖井后开井采油,自动开启单向阀,原油从奇数级裂缝产出并进入油管,置换出来的原油和注入水的混合物从偶数级裂缝产出并进入油套环形空间,继而进入油管产出。该方法提高了油井产量,减少了作业成本,具有广泛的应用前景。



1. 一种多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法,按照先后顺序包括以下步骤:

步骤一:对水平井井筒进行分段压裂,形成多条垂直于水平井井筒的压裂裂缝;

步骤二:在每一条奇数级裂缝的射孔位置分别设置单向阀,在每一条偶数级裂缝的注水孔位置分别设置配注阀;

步骤三:在生产初期,利用天然能量开采一段时间,直至井底压力下降至泡点压力;

步骤四:利用裂缝间隔注水吞吐开采,自动关闭单向阀,自动开启配注阀,同时向油管与套管之间形成的油套环形空间内注水进行驱替,注入水进入偶数级裂缝;

步骤五:关闭井口焖井,原油与注入水进行渗吸置换;

步骤六:打开井口采油,自动开启单向阀,原油从奇数级裂缝产出并进入油管,置换出来的原油和注入水的混合物从偶数级裂缝产出并进入油套环形空间,继而进入油管产出,当产量低于经济极限产量时,进入下一轮吞吐;

所述压裂裂缝至少为三级;所述套管内安装一根油管;在同一口水平井上,向油管与套管形成的油套环形空间内注水,注入水从偶数级裂缝进入地层,从注水裂缝两侧的奇数级裂缝及注水裂缝一起采油,原油从油管中产出。

2. 如权利要求1所述的多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法,其特征在于:步骤三中,利用天然能量开采时,单条裂缝产量的计算模型为

$$q_{f1} = \frac{2\pi kh \left[p_i - p_w - \left(\frac{a + \sqrt{a^2 - (x_f/2)^2}}{x_f/2} \right) G \right]}{\mu B_o \left[\ln \frac{a + \sqrt{a^2 - (x_f/2)^2}}{x_f/2} + \frac{kh}{k_f w} \ln \left(\frac{1}{r_w} \sqrt{\frac{x_f h}{\pi}} + s \right) \right]}$$

式中, μ ——原油粘度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$;

k ——储层渗透率, μm^2 ;

k_f ——裂缝渗透率, μm^2 ;

w ——裂缝宽度, cm ;

h ——储层厚度, cm ;

B_o ——体积系数;

p_i ——裂缝椭圆边界压力, 10^{-1}MPa ;

p_w ——井底压力, 10^{-1}MPa ;

a ——椭圆长半轴, cm ;

x_f ——裂缝半长, cm ;

q_{f1} ——利用天然能量开采时,单条裂缝产量, cm^3/s ;

G ——启动压力梯度, MPa/cm ;

s ——表皮系数。

3. 如权利要求2所述的多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法,其特征在于:利用天然能量开采时,各条裂缝总产量的计算模型为

$$Q_1 = n \times q_{f1}$$

式中： n ——总裂缝条数。

4. 如权利要求1所述的多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法，其特征在于：步骤六中，利用裂缝间隔注水吞吐开采时，产油裂缝中的单条裂缝产量的计算模型为

$$q_{f2} = \frac{2\pi khN}{\mu B_o} \frac{\left[p_e - p_w - \left(\frac{a + \sqrt{a^2 - (x_f/2)^2}}{x_f/2} + \frac{A + \sqrt{A^2 - (L/2)^2}}{L/2} - 2 \right) G \right]}{\left[\ln \frac{a + \sqrt{a^2 - (x_f/2)^2}}{x_f/2} + \frac{A + \sqrt{A^2 - (L/2)^2}}{L/2} + \frac{kh}{k_f w} \ln \left(\frac{1}{r_w} \sqrt{\frac{x_f h}{\pi}} + s \right) \right]}$$

式中， μ ——原油粘度， $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ；

k ——储层渗透率， μm^2 ；

k_f ——裂缝渗透率， μm^2 ；

w ——裂缝宽度， cm ；

h ——储层厚度， cm ；

B_o ——体积系数；

p_e ——地层边界压力， 10^{-1}MPa ；

p_w ——井底压力， 10^{-1}MPa ；

a ——椭圆长半轴， cm ；

x_f ——裂缝半长， cm ；

q_{f2} ——利用裂缝间隔注水吞吐开采时，产油裂缝中的单条裂缝产量， cm^3/s ；

G ——启动压力梯度， MPa/cm ；

A ——椭圆长轴， cm ；

L ——水平段长度， cm ；

s ——表皮系数。

5. 如权利要求4所述的多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法，其特征在于：利用裂缝间隔注水吞吐开采时，各条产油裂缝总产量的计算模型为

$$Q_2 = N \times q_{f2}$$

式中： N ——产油裂缝条数。

6. 如权利要求1所述的多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法，其特征在于：利用天然裂缝间隔注水吞吐开采过程中，各条注水裂缝总注水量的计算模型为

$$Q_{\text{注水量}} = (q_{f1} + q_{f2}) \times n$$

式中： n ——总裂缝条数；

q_{f1} ——利用天然能量开采时，单条裂缝产量， cm^3/s ；

q_{f2} ——利用裂缝间隔注水吞吐开采时，产油裂缝中的单条裂缝产量， cm^3/s 。

7. 如权利要求6所述的多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法，其特征在于：利用天然裂缝间隔注水吞吐开采过程中，单条注水裂缝的注水量的计算模型为

$$q_{\text{注水量}} = \frac{Q_{\text{注水量}}}{b}$$

式中：b——注水裂缝条数。

8. 如权利要求1所述的多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法，其特征在于：步骤五中，焖井时间至少十五天。

多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法

技术领域

[0001] 本发明属于油气藏开发技术领域,具体涉及一种多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法。

背景技术

[0002] 多级压裂水平井是低渗、致密油藏普遍采用的增产方式,但是此类井利用天然能量开采一段时间后地层压力普遍下降较快,必须对其进行有效的能量补充。常规补充能量的井网形式是直井注水和多级压裂水平井采油,在水平井周围布置直井,注入水容易沿裂缝突进,导致某些裂缝及早见水,造成水平井水淹,产量迅速下降。此外同一多级压裂水平井注水吞吐则会使得油墙推离较远,开井时难以充分开采。因此,急需开发一种新型的多级压裂水平井采油技术,以解决现有技术存在的缺陷。

[0003] 申请公布号为CN105114048A的发明专利公开了一种水平井分段压裂同井注采采油方法,该方法通过水平井分段压裂,在油层不同部位产生多条垂直于水平井筒的压裂裂缝,选取其中一条裂缝作为流体注入通道,与之相邻的两侧的裂缝作为原油采出通道,驱替原油沿着位于中间的裂缝向两侧裂缝流动;结合双油管分段封隔技术,在水平井内将此裂缝与相邻的两个裂缝进行封隔,流体从中间裂缝注入,驱替原油从两侧相邻的裂缝流至水平井筒,产出液沿着另一个油管通道产出井筒,从而在同一水平井内形成分段同井注采系统。该技术方案比较复杂,在水平井内,每次只能对三条裂缝进行注水和采油,这三条裂缝完成注水和采油后,才能对与其相邻的另外三条裂缝进行注水和采油,可见生产工序多,生产效率低;而且只能从中间的裂缝注入水,从与其相邻的两侧的裂缝产油,中间的裂缝不能同时产油,因此没有利用所有的裂缝产油,产油量还有待提高;此外该技术方案不能定量评价总产油量以及每条裂缝的产油量。

发明内容

[0004] 为解决现有技术中存在的问题,本发明提供一种多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法,按照先后顺序包括以下步骤:

[0005] 步骤一:对水平井井筒进行分段压裂,形成多条垂直于水平井井筒的压裂裂缝;

[0006] 步骤二:在每一条奇数级裂缝的位置分别设置单向阀,在每一条偶数级裂缝的位置分别设置配注阀;

[0007] 步骤三:在生产初期,利用天然能量开采一段时间,直至井底压力下降至泡点压力;

[0008] 步骤四:利用裂缝间隔注水吞吐开采,自动关闭单向阀,自动开启配注阀,同时向油管与套管之间形成的油套环形空间内注水进行驱替,注入水进入偶数级裂缝;

[0009] 步骤五:关闭井口焖井,原油与注入水进行渗吸置换;

[0010] 步骤六:打开井口采油,自动开启单向阀,原油从奇数级裂缝产出并进入油管,置换出来的原油和注入水的混合物从偶数级裂缝产出并进入油套环形空间,继而进入油管产

出,当产量低于经济极限产量时,进入下一轮吞吐。

[0011] 本发明的多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法,是在同一个压裂水平井中,利用油管与套管形成油套环形空间,从油套环形空间中注水进行驱替,注入水进入偶数级裂缝,即二级、四级、六级、八级等裂缝;关井焖井一段时间后再开井采油,自动开启单向阀,原油从奇数级裂缝产出并进入油管,置换出来的原油和注入水的混合物从偶数级裂缝产出并进入油套环形空间,继而进入油管。

[0012] 油套环形空间注水驱替过程:注入水从油套环形空间进入,在一级、三级、五级、七级、九级等奇数级裂缝的射孔位置安装单向阀,使注入水无法进入这些奇数级裂缝,而原油则可以从这些奇数级裂缝中产出。这种注水驱替采油方法可以使从偶数级裂缝中注入的水同时向与其相邻的两侧的奇数级裂缝驱替,在垂直水平井筒方向上实现均匀驱油,进而提高波及面积,改善驱油效果。

[0013] 优选的是,步骤一中,压裂裂缝至少为三级。更为优选的是九级裂缝。

[0014] 在上述任一方案中优选的是,步骤二中,单向阀安装在奇数级裂缝的射孔位置,配注阀安装在偶数级裂缝的注水孔位置。

[0015] 在上述任一方案中优选的是,步骤三中,利用天然能量开采时,单条裂缝产量的计算模型为:

$$[0016] \quad q_{f1} = \frac{2\pi kh \left[p_i - p_w - \left(\frac{a + \sqrt{a^2 - (x_f/2)^2}}{x_f/2} \right) G \right]}{\mu B_o \left[\ln \frac{a + \sqrt{a^2 - (x_f/2)^2}}{x_f/2} + \frac{kh}{k_f w} \ln \left(\frac{1}{r_w} \sqrt{\frac{x_f h}{\pi}} + s \right) \right]}$$

[0017] 式中, μ ——原油粘度,mPa·s;

[0018] k ——储层渗透率, μm^2 ;

[0019] k_f ——裂缝渗透率, μm^2 ;

[0020] w ——裂缝宽度,cm;

[0021] h ——储层厚度,cm;

[0022] B_o ——体积系数;

[0023] p_i ——裂缝椭圆边界压力, 10^{-1}MPa ;

[0024] p_w ——井底压力, 10^{-1}MPa ;

[0025] a ——椭圆长半轴,cm;

[0026] x_f ——裂缝半长,cm;

[0027] q_{f1} ——利用天然能量开采时,单条裂缝产量, cm^3/s ;

[0028] G ——启动压力梯度,MPa/cm;

[0029] s ——表皮系数。

[0030] 在上述任一方案中优选的是,利用天然能量开采时,各条裂缝总产量的计算模型为 $Q_1 = n \times q_{f1}$,式中: n ——总裂缝条数。

[0031] 在上述任一方案中优选的是,步骤六中,利用裂缝间隔注水吞吐开采时,产油裂缝中的单条裂缝产量的计算模型为:

[0032]

$$q_{f2} = \frac{2\pi khN}{\mu B_o} \frac{\left[p_e - p_w - \left(\frac{a + \sqrt{a^2 - (x_f/2)^2}}{x_f/2} + \frac{A + \sqrt{A^2 - (L/2)^2}}{L/2} - 2 \right) G \right]}{\left[\ln \frac{a + \sqrt{a^2 - (x_f/2)^2}}{x_f/2} + \frac{A + \sqrt{A^2 - (L/2)^2}}{L/2} + \frac{kh}{k_f w} \ln \left(\frac{1}{r_w} \sqrt{\frac{x_f h}{\pi}} + s \right) \right]}$$

[0033] 式中, μ ——原油粘度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$;

[0034] k ——储层渗透率, μm^2 ;

[0035] k_f ——裂缝渗透率, μm^2 ;

[0036] w ——裂缝宽度, cm ;

[0037] h ——储层厚度, cm ;

[0038] B_o ——体积系数;

[0039] p_e ——地层边界压力, 10^{-1}MPa ;

[0040] p_w ——井底压力, 10^{-1}MPa ;

[0041] a ——椭圆长半轴, cm ;

[0042] x_f ——裂缝半长, cm ;

[0043] q_{f2} ——利用裂缝间隔注水吞吐开采时,产油裂缝中的单条裂缝产量, cm^3/s ;

[0044] G ——启动压力梯度, MPa/cm ;

[0045] A ——椭圆长轴, cm ;

[0046] L ——水平段长度, cm ;

[0047] s ——表皮系数。

[0048] 在上述任一方案中优选的是,利用裂缝间隔注水吞吐开采时,各条产油裂缝总产量的计算模型为 $Q_2 = N \times q_{f2}$,式中: N ——产油裂缝条数。

[0049] 在上述任一方案中优选的是,利用天然裂缝间隔注水吞吐开采过程中,各条注水裂缝总注水量的计算模型为 $Q_{\text{注水量}} = (q_{f1} + q_{f2}) \times n$,式中: n ——总裂缝条数; q_{f1} ——利用天然能量开采时,单条裂缝产量, cm^3/s ; q_{f2} ——利用裂缝间隔注水吞吐开采时,产油裂缝中的单条裂缝产量, cm^3/s 。

[0050] 在上述任一方案中优选的是,利用天然裂缝间隔注水吞吐开采过程中,单条注水

裂缝的注水量的计算模型为 $q_{\text{注水量}} = \frac{Q_{\text{注水量}}}{b}$,式中: b ——注水裂缝条数。

[0051] 在上述任一方案中优选的是,步骤五中,焖井时间至少十五天。

[0052] 本发明的注水吞吐采油机理如下:首先沿着压裂裂缝注水,然后焖井,最后开井采油。注入水从压裂裂缝向两侧推进,关井后,在毛细管力作用下,使注入水与基质孔喉中的油气产生置换,导致产层中的油水重新分布,亦即产生渗吸现象,置换出孔隙中的油。开井

生产后,被置换出来的油与注入水一起被采出。注水吞吐采油起到补充地层能量的作用,分三个阶段:注水升压阶段、关井置换阶段和开井采油阶段。

[0053] (1) 注水升压阶段:在注水升压阶段,注入水优先从压裂裂缝网络向基质推进,随注水量的增加,地层中流体饱和度重新分布,总趋势表现为地层压力升高,水相波及区域含油饱和度逐渐下降,井底附近下降幅度最大,而水驱前缘附近含油饱和度则稍有上升,这是由于注水对原油具有驱替作用。

[0054] (2) 关井置换阶段:关井过程是油水渗吸置换过程。由于油水置换过程相当缓慢,因此关井一定时间有利于油水充分置换,地层压力重新分布,此外储集层的亲水性有利于充分发挥毛管力吸水排油的作用,形成吸水排油的单向对流运动,促使水线逐渐向油层远处推进。

[0055] (3) 开井采油阶段:开井采油阶段是能量释放过程,由于注入水大部分聚集在井底附近,开采初期含水高,随开采时间的增加逐渐下降,然后再缓慢上升,而日产油有一个先上升再逐渐递减的过程。

[0056] 本发明的多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法,工艺简单,操作方便,该方法应用在同一口水平井上,通过油套环形空间注水和油管采油的方式,注入水从偶数级裂缝进入地层,关井焖井一段时间后再开井采油,注水裂缝两侧的裂缝及注水裂缝一起采油。这种方法不仅起到驱替作用,还可以渗吸置换孔隙中的原油,极大地提高驱替效率,同时提高油井产量,相对于注采井网驱油而言,不用钻注水井,减少作业成本,具有广泛的应用前景。

附图说明

[0057] 图1为按照本发明的多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法的一优选实施例的注水驱替过程示意图;

[0058] 图2为按照本发明的多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法的图1所示实施例的焖井后开采过程示意图。

[0059] 图中标注说明:1-压裂水平井,2-奇数级裂缝,3-偶数级裂缝,4-油管,5-套管,6-油套环形空间,7-单向阀,8-配注阀,9-射孔,10-注水孔。

具体实施方式

[0060] 为了更进一步了解本发明的发明内容,下面将结合具体实施例详细阐述本发明。

[0061] 按照本发明的多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法,其按照先后顺序包括以下步骤:

[0062] 步骤一:对水平井井筒进行分段压裂,形成多条垂直于水平井井筒的压裂裂缝;

[0063] 步骤二:在每一条奇数级裂缝的位置分别设置单向阀,在每一条偶数级裂缝的位置分别设置配注阀;

[0064] 步骤三:在生产初期,利用天然能量开采一段时间,直至井底压力下降至泡点压力;

[0065] 步骤四:利用裂缝间隔注水吞吐开采,自动关闭单向阀,自动开启配注阀,同时向油管与套管之间形成的油套环形空间内注水进行驱替,注入水进入偶数级裂缝;

[0066] 步骤五:关闭井口焖井,原油与注入水进行渗吸置换;

[0067] 步骤六:打开井口采油,自动开启单向阀,原油从奇数级裂缝产出并进入油管,置换出来的原油和注入水的混合物从偶数级裂缝产出并进入油套环形空间,继而进入油管产出,当产量低于经济极限产量时,进入下一轮吞吐。

[0068] 如图1和图2所示,本实施例的多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法,是在同一个压裂水平井1中,利用油管4与套管5形成油套环形空间6,从油套环形空间6中注水进行驱替,注入水进入偶数级裂缝3,即二级、四级、六级、八级等裂缝;关井焖井一段时间后再开井采油,自动开启单向阀,原油从奇数级裂缝2产出并进入油管4,置换出来的原油和注入水的混合物从偶数级裂缝3产出并进入油套环形空间6,继而进入油管产出。

[0069] 油套环形空间注水驱替过程:注入水从油套环形空间6进入,在一级、三级、五级、七级、九级等奇数级裂缝2的射孔9位置安装单向阀7,使注入水无法进入这些奇数级裂缝2,而原油则可以从这些奇数级裂缝2中产出。这种注水驱替采油方法可以使从偶数级裂缝3中注入的水同时向与其相邻的两侧的奇数级裂缝2驱替,在垂直水平井筒方向上实现均匀驱油,进而提高波及面积,改善驱油效果。

[0070] 步骤一中,压裂裂缝为九级。在图1中从左向右依次为一级、二级、三级、四级、五级、六级、七级、八级和九级。

[0071] 步骤二中,单向阀7安装在奇数级裂缝2的射孔9位置,配注阀8安装在偶数级裂缝3的注水孔10位置。

[0072] 步骤三中,利用天然能量开采时,裂缝内部径向流,假设裂缝之间不存在干扰,各条裂缝的产量都相等,不考虑井筒压降的影响,则单条裂缝产量的计算模型为:

$$[0073] \quad q_{f1} = \frac{2\pi kh \left[p_i - p_w - \frac{\left(a + \sqrt{a^2 - (x_f/2)^2} \right)}{x_f/2} G \right]}{\mu B_o \left[\ln \frac{a + \sqrt{a^2 - (x_f/2)^2}}{x_f/2} + \frac{kh}{k_f w} \ln \left(\frac{1}{r_w} \sqrt{\frac{x_f h}{\pi}} + s \right) \right]}$$

[0074] 式中, μ ——原油粘度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$;

[0075] k ——储层渗透率, μm^2 ;

[0076] k_f ——裂缝渗透率, μm^2 ;

[0077] w ——裂缝宽度, cm ;

[0078] h ——储层厚度, cm ;

[0079] B_o ——体积系数;

[0080] p_i ——裂缝椭圆边界压力, 10^{-1}MPa ;

[0081] p_w ——井底压力, 10^{-1}MPa ;

[0082] a ——椭圆长半轴, cm ;

[0083] x_f ——裂缝半长, cm ;

[0084] q_{f1} ——利用天然能量开采时,单条裂缝产量, cm^3/s ;

[0085] G——启动压力梯度,MPa/cm;

[0086] s——表皮系数。

[0087] 利用天然能量开采时,各条裂缝总产量的计算模型为 $Q_1 = n \times q_{f1}$,式中:n——总裂缝条数。本实施例中,n=9。

[0088] 步骤六中,利用裂缝间隔注水吞吐开采时,产油裂缝中的单条裂缝产量的计算模型为:

[0089]

$$q_{f2} = \frac{2\pi khN}{\mu B_o} \left[\frac{p_e - p_w - \left(\frac{a + \sqrt{a^2 - (x_f/2)^2}}{x_f/2} + \frac{A + \sqrt{A^2 - (L/2)^2}}{L/2} - 2 \right) G}{\ln \frac{a + \sqrt{a^2 - (x_f/2)^2}}{x_f/2} + \frac{A + \sqrt{A^2 - (L/2)^2}}{L/2} + \frac{kh}{k_f w} \ln \left(\frac{1}{r_w} \sqrt{\frac{x_f h}{\pi}} + s \right)} \right]$$

[0090] 式中, μ ——原油粘度,mPa·s;

[0091] k——储层渗透率, μm^2 ;

[0092] k_f ——裂缝渗透率, μm^2 ;

[0093] w——裂缝宽度,cm;

[0094] h——储层厚度,cm;

[0095] B_o ——体积系数;

[0096] p_e ——地层边界压力, 10^{-1} MPa;

[0097] p_w ——井底压力, 10^{-1} MPa;

[0098] a ——椭圆长半轴,cm;

[0099] x_f ——裂缝半长,cm;

[0100] q_{f2} ——利用裂缝间隔注水吞吐开采时,产油裂缝中的单条裂缝产量, cm^3/s ;

[0101] G——启动压力梯度,MPa/cm;

[0102] A——椭圆长轴,cm;

[0103] L——水平段长度,cm;

[0104] s——表皮系数。

[0105] 利用裂缝间隔注水吞吐开采时,各条产油裂缝总产量的计算模型为 $Q_2 = N \times q_{f2}$,式中:N——产油裂缝条数。本实施例中,N=5。

[0106] 利用天然裂缝间隔注水吞吐开采过程中,各条注水裂缝总注水量的计算模型为 $Q_{\text{注水量}} = (q_{f1} + q_{f2}) \times n$,式中:n——总裂缝条数,即n=9; q_{f1} ——利用天然能量开采时,单条裂缝产量, cm^3/s ; q_{f2} ——利用裂缝间隔注水吞吐开采时,产油裂缝中的单条裂缝产量, cm^3/s 。

[0107] 利用天然裂缝间隔注水吞吐开采过程中,单条注水裂缝的注水量的计算模型为

$$q_{\text{注水量}} = \frac{Q_{\text{注水量}}}{b}, \text{ 式中: } b \text{——注水裂缝条数。本实施例中, } b=4.$$

[0108] 步骤五中,焖井时间为三十天。

[0109] 本实施例的注水吞吐采油机理如下：首先沿着压裂裂缝注水，然后焖井，最后开井采油。注入水从压裂裂缝向两侧推进，关井后，在毛细管力作用下，使注入水与基质孔喉中的油气产生置换，导致产层中的油水重新分布，亦即产生渗吸现象，置换出孔隙中的油。开井生产后，被置换出来的油与注入水一起被采出。注水吞吐采油起到补充地层能量的作用，分三个阶段：注水升压阶段、关井置换阶段和开井采油阶段。

[0110] (1) 注水升压阶段：在注水升压阶段，注入水优先从压裂裂缝网络向基质推进，随注水量的增加，地层中流体饱和度重新分布，总趋势表现为地层压力升高，水相波及区域含油饱和度逐渐下降，井底附近下降幅度最大，而水驱前缘附近含油饱和度则稍有上升，这是由于注水对原油具有驱替作用。

[0111] (2) 关井置换阶段：关井过程是油水渗吸置换过程。由于油水置换过程相当缓慢，因此关井一定时间有利于油水充分置换，地层压力重新分布，此外储集层的亲水性有利于充分发挥毛细管力吸水排油的作用，形成吸水排油的单向对流运动，促使水线逐渐向油层远处推进。

[0112] (3) 开井采油阶段：开井采油阶段是能量释放过程，由于注入水大部分聚集在井底附近，开采初期含水高，随开采时间的增加逐渐下降，然后再缓慢上升，而日产油有一个先上升再逐渐递减的过程。

[0113] 本实施例的多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法，工艺简单，操作方便，该方法应用在同一口水平井上，通过油套环形空间注水和油管采油的方式，注入水从偶数级裂缝进入地层，关井焖井一段时间后再开井采油，注水裂缝两侧的裂缝及注水裂缝一起采油。这种方法不仅起到驱替作用，还可以渗吸置换孔隙中的原油，极大地提高驱替效率，同时提高油井产量，相对于注采井网驱油而言，不用钻注水井，减少作业成本，具有广泛的应用前景。

[0114] 本领域技术人员不难理解，本发明的多级压裂水平井缝间间隔注水吞吐采油方法包括上述本发明说明书的发明内容和具体实施方式部分以及附图所示出的各部分的任意组合，限于篇幅并为使说明书简明而没有将这些组合构成的各方案一一描述。凡在本发明的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

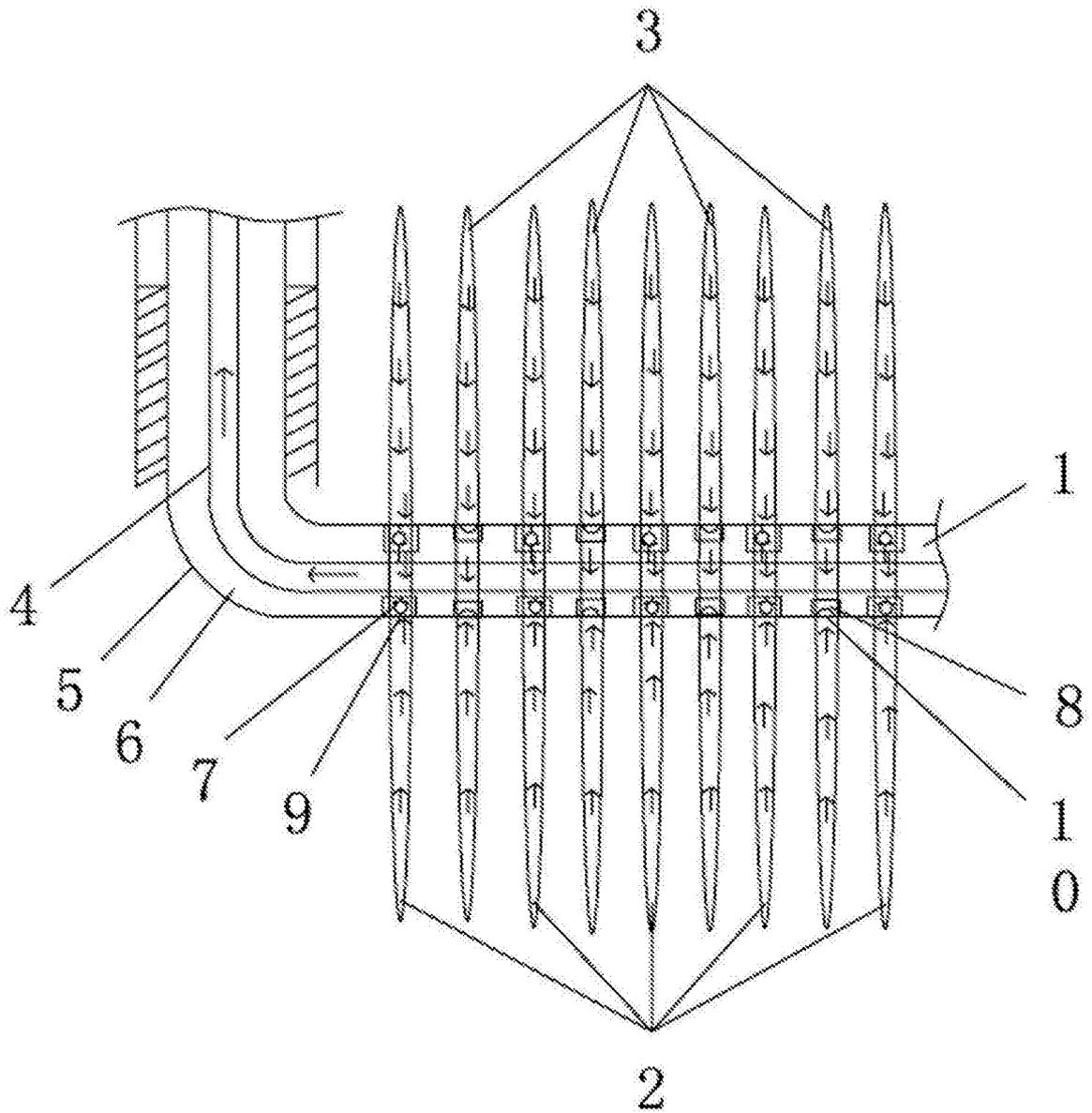


图2