



(10) 授权公告号 CN 115288647 B

(45) 授权公告日 2023. 05. 19

(21) 申请号 202210871863.0

(22) 申请日 2022.07.22

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 115288647 A

(43) 申请公布日 2022.11.04

(73) 专利权人 捷贝通石油技术集团股份有限公司

地址 610000 四川省成都市新都区新都大道8号西南石油大学科技园大厦8楼807A室

(72) 发明人 钟萍萍 敖科 詹思源 杨磊
路宇豪 邢杨义

(74) 专利代理机构 成都智言知识产权代理有限公司 51282

专利代理师 蒋秀清

(51) Int. Cl.

E21B 43/26 (2006.01)

E21B 43/267 (2006.01)

E21B 43/22 (2006.01)

C09K 8/58 (2006.01)

C09K 8/584 (2006.01)

C09K 8/594 (2006.01)

G06F 30/28 (2020.01)

G06F 111/10 (2020.01)

G06F 113/08 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

(56) 对比文件

AU 2020101406 A4, 2020.08.20

CN 104531129 A, 2015.04.22

CN 104845605 A, 2015.08.19

CN 106433602 A, 2017.02.22

CN 106675546 A, 2017.05.17

CN 108410442 A, 2018.08.17

CN 109458168 A, 2019.03.12

CN 111219176 A, 2020.06.02

CN 111271043 A, 2020.06.12

US 2018334611 A1, 2018.11.22

WO 2014153102 A1, 2014.09.25

李帅;丁云宏;孟迪;卢拥军;许江文;.考虑
渗吸和驱替的致密油藏体积改造实验及多尺度
模拟.石油钻采工艺.2016,(第05期),678-683.

邢杨义;赵立强;刘平礼;龚云蕾;邢杨梅;.裂
缝性储层水平井压裂过程中起裂条件研究.石
油天然气学报.2013,(第05期),120-126.

审查员 杨德朋

权利要求书2页 说明书6页 附图2页

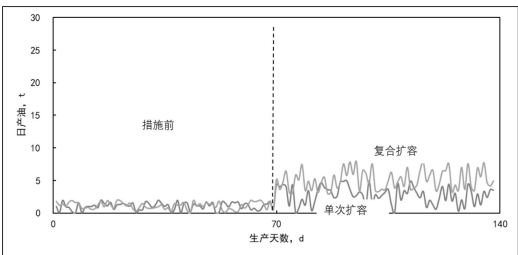
(54) 发明名称

一种用于提高油井采收率的复合扩容方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用于提高油井采收率的复合扩容方法,涉及油田增产技术领域,本发明在单次水力扩容的基础上,依次注入主要由二氧化碳+氮气(体积比4:1)+十二烷基硫酸钠(2.0wt%)+胍胶溶液(0.7wt%胍胶)配置成的混合气体泡沫及含纳米乳液渗吸驱油剂(主要由10~30wt%纳米二氧化硅、5~15wt%十二烷基苯磺酸钠、10~20wt%山梨糖醇酐油酸、去离子水组成)的工作液,实现多次扩容。注入混合气体泡沫实现二次扩容,进一步延展微裂缝,增大扩容

改造区,同时降低原油粘度,提高其流动能力;注入含纳米乳液渗吸驱油剂的工作液进行三次扩容,同时利用纳米乳液驱油剂粒径小、改变岩石润湿性的性质,置换出远井地带未动用油相及近井地带微孔隙中的残余油相,最大限度提高油井采收率。



CN 115288647 B

1. 一种用于提高油井采收率的复合扩容方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 收集目标区域各井生产数据及地质参数,包括:目的层平均渗透率、储层厚度、地层孔隙度、含油饱和度、地层温压条件及该条件下的流体渗流性质、含水率,根据各井所在油藏开发现状及开发政策,结合单井目前采出程度,筛选出措施井;

(2) 根据措施井所在地层条件,选取符合实验条件的岩心,开展渗吸评价实验,测试不同纳米乳液渗吸驱油剂在地层条件下的驱油效果,优选驱油效果良好的纳米乳液渗吸驱油剂;

(3) 根据改造层位物性参数,包括:裂缝预测半长、储层厚度,孔隙度,设计纳米乳液渗吸驱油剂注入量;

(4) 向目标层位下入封隔器并注入高压流体,测试该层位的最小主应力和破裂压力;

(5) 采取连续、大排量方式注入流体,利用高速流体的连续冲蚀,冲击、破碎井周堵塞,建立高效的渗流通道,为后续扩容制造良好注入环境;

(6) 采取循环水力振荡的方式,注入清水,通过高压水力和振荡冲击的双重作用,使岩层产生剪切扩容及张性扩容,形成大规模、高渗透率的扩容区;

(7) 实时收集监测到的压力数值,利用热流固耦合数值模拟软件分析、预测扩容半径,结合集成了大数据分析的数值模拟系统,优化注入量,尽可能增大扩容改造规模,提高措施后油井产量;

(8) 注入由体积比为4:1的二氧化碳:氮气+2.0 wt %的十二烷基硫酸钠+0.7 wt %胍胶的胍胶溶液配置成的混合气体泡沫对改造层位进行二次扩容,继续扩大扩容区微裂缝,提高岩体渗透率;同时,胍胶溶液能有效增强泡沫工作液的稳定性及携砂能力,降低其在扩容增渗过程中的滤失;

(9) 注入质量分数0.2%的纳米乳液渗吸驱油剂的工作液,驱油剂主要由10~30wt%的纳米二氧化硅、5~15wt%的十二烷基苯磺酸钠、10~20wt %的山梨糖醇酐油酸、去离子水组成;在进行三次扩容的基础上,利用驱油剂置换出微小孔道中的油相,该驱油剂可改变孔喉中岩石润湿性,解除水锁,提高孔道间的渗流能力;同时,该驱油剂粒径小,易进入地层微孔喉中,将吸附在岩石表面的原油置换出来;在泵注末期,注入含砂质量百分比为10的低砂比砂液用以支撑微裂缝;

(10) 关井,焖井 5~8 天。

2. 如权利要求 1 所述的用于提高油井采收率的复合扩容方法,其特征在于,步骤(2)中,渗吸评价实验包括如下步骤:

① 挑选岩心进行人工造缝,利用渗透率测定仪器检测岩心孔渗性,筛选出与措施井地层孔渗条件相近的岩心,将岩心进行清洗、烘干并称重,质量为 m_1 ,计算岩心中束缚水体积 V_w ,计算公式如下:

$$V_w = \frac{\pi \times r^2 \times L \times \emptyset \times S_w}{4}$$

其中: r -岩心半径, cm;

L -岩心长度, cm;

$\emptyset$ -孔隙度, %;

S_w -束缚水饱和度, cm^3/cm^3 ;

计算束缚水质量 m_2 ,得到束缚水饱和下的岩心质量 m_3 ,

m_2 计算公式如下:

$$m_2 = V_w \times \rho_w \text{ 其中: } \rho_w \text{ 为地层水密度, g/cm}^3;$$

②建立束缚水:将岩心放入耐高压中间容器并抽真空,在地层温度、压力下饱和地层水,取出岩心并将多余地层水烘干,直至岩心质量为 m_3 ;

③将饱和束缚水的岩心在地层温度、压力条件下饱和油样,取出并擦拭岩心,将岩心进行称重记为 m_4 ,确定饱和油体积 V_o :

$$V_o = \frac{(m_4 - m_3)}{\rho_o} \text{ 其中, } \rho_o \text{ 为油密度, g/cm}^3;$$

④将岩心置于地层水中进行称重,记为 m_5 ,在地层温度、压力条件下进行渗吸评价实验,实验结束后,取出并擦拭岩心,将岩心置于地层水中进行称重,记为 m_6 ,计算得到渗吸驱油效率 R ,对比不同驱油剂 R 数值,优选 R 数值较大的纳米渗吸驱油剂,其中, R 的计算公式如下:

$$R = \frac{m_5 - m_6}{m_4 - m_3}。$$

3.如权利要求 1 所述的用于提高油井采收率的复合扩容方法,其特征在于,步骤(4)中,所述最小主应力和破裂压力的测试过程如下:

①设备验漏,下入封隔器:对地面高压管线进行密封性检测,30 分钟内压降小于1MPa 视为密封性良好,下入封隔器到指定测试层位;

②地应力测试:泵入测试流体进行地应力测试,实时记录流压随时间的变化曲线,现场施工过程中保证注入压力小于最大安全工作压力的 80%,当增压到地层破裂时,压力随之下降,视现场实际施工情况决定停泵时间,通过分析实时压力变化曲线,计算地层最小主应力和破裂压力。

4.如权利要求 1 所述的用于提高油井采收率的复合扩容方法,其特征在于,步骤(5)中,清除井周堵塞的注入采取连续、大排量方式。

5.如权利要求 1 所述的用于提高油井采收率的复合扩容方法,其特征在于,步骤(6)中,所述循环水力振荡具体为:采用变排量、短时停泵的方式注入扩容工作液,以此在地层产生水力振荡。

一种用于提高油井采收率的复合扩容方法

技术领域

[0001] 本发明涉及油田增产技术领域,具体涉及一种用于提高油井采收率的复合扩容方法。

背景技术

[0002] 如今,油气勘探开发技术日趋成熟,致密油、致密气、页岩油等非常规油气资源逐渐成为重要的接替能源。但该类油气藏具有低渗、低孔隙度的特点,注水困难,无法进行有效的注水开发,需要进行压裂改造。且随着开发时间延长,需要及时补充地层能量,向地层注入增能流体,从而达到提高采收率的目的。但受制于该类油气藏低孔、低渗、均质性差等特点,导致二次或三次采油过程中注水压力高、日注入量小、油井见效差甚至不见效等情况出现。对于低渗储层,水力压裂能在井周形成裂缝网络,同时在远离井筒的区域形成次生裂缝,短期内能有效提高储层渗流能力。但受致密储层低孔渗、岩石润湿性等因素影响,压裂液无法进入纳米级的微小孔喉,波及体积小,增能效果不佳;同时,油水不互溶,产生相分离,水无法有效地将油驱替出来,造成采收率较低。

[0003] 《一种油气井地应力扩容改造增产方法》(CN 111271043 B)提出一种单井地应力扩容方法,该方法仅针对单井进行扩容改造,难以形成大规模的微裂缝网络;《一种注水井扩容储层改造方法》(CN 111219176 B)涉及的改造方法是针对注水井,且其采用的地应力预处理方式为低速和压力控制的注水方式,改造效果不理想。以上两种改造方法都仅仅采用常规的水力扩容方法,而本发明采用是不同于以上单次扩容的水力扩容+混合气体泡沫二次扩容+纳米乳液渗吸驱油剂三次扩容的复合扩容方法,可以更有利于沟通远井地带的地层裂缝,形成大规模扩容改造区域及渗透性良好的流动通道,最大程度实现地层扩容改造,延展微裂缝,提高孔道间的渗流能力,从而最大限度提高油井采收率。

发明内容

[0004] 针对现有技术中的上述问题,本发明提供一种用于提高油井采收率的复合扩容方法,以解决现有水力扩容因受致密储层低孔渗、岩石润湿性等因素影响增能效果不佳以及水无法有效地将油驱替出来的技术问题。

[0005] 本发明采用的技术方案如下:

[0006] 发明公开了一种用于提高油井采收率的复合扩容方法,包括如下步骤:

[0007] (1)收集目标区域各井生产数据及地质参数,包括目的层平均渗透率、储层厚度、地层孔隙度、含油饱和度、地层温压条件及该条件下的流体渗流性质、含水率。结合各井目前生产情况及所在区块油藏地质特征、开发政策,筛选出适合进行复合扩容的措施井;

[0008] (2)针对措施井所处地层条件,利用渗透率测试仪测定岩心的孔渗性,筛选出与实际地层条件相近的岩心,开展渗吸评价实验,优选出驱油效果良好的纳米乳液渗吸驱油剂;

[0009] (3)根据改造层位物性参数,包括:裂缝预测半长、储层厚度,孔隙度,设计渗吸驱油剂注入量,确保渗吸驱油剂波及远井地带;

[0010] (4)向目标层位下入封隔器并注入高压流体,测试该层位的最小主应力和破裂压力;

[0011] (5)向目标层位注入清洁流体,通过大排量、连续注入的方式,利用高速流体的连续冲蚀能力,清除井周堵塞,改善井周地层的渗流能力,为后续多次扩容建立良好的流动通道,为实现大规模扩容改造区营造良好注入环境;

[0012] (6)注入扩容工作液,注入过程采取变排量,并辅以停泵回流的方式,通过循环的水力振荡冲击地层,迫使地层岩石颗粒发生错动,产生新的剪切孔隙和裂缝,此时,注入的流体进入新产生的剪切孔隙和裂缝中,孔隙压力不断增大,致使岩石颗粒间距进一步增大,形成高渗透率的流动通道;

[0013] (7)扩容过程中,现场实时采集施工压力数据,利用热流固耦合数值模拟软件分析地层在流体作用下的受力情况,通过反演来进行扩容半径计算,同时,结合集成了大数据分析的数值模拟系统对注入量进行优化,尽可能提高扩容改造规模;此数值模拟系统与常规数值模拟系统的不同之处在于集成了大数据分析的方法,于模型中预先导入大量实际生产数据,在模型运算过程中可实时将模拟结果与大数据结果进行对比;

[0014] (8)注入由二氧化碳:氮气(体积比4:1)+十二烷基硫酸钠(2.0wt%)+胍胶溶液(0.7wt%胍胶)配置成的混合气体泡沫对改造层位进行二次扩容,利用气体泡沫携砂能力强和易进入微孔隙的特点,继续增大、支撑扩容区微裂缝,提高岩体渗透率;胍胶溶液能有效增强泡沫工作液的稳定性及携砂能力,降低其在扩容增渗过程中的滤失;

[0015] (9)注入质量分数0.2%的纳米乳液渗吸驱油剂的工作液进行三次扩容,纳米乳液渗吸驱油剂主要由纳米二氧化硅(10~30wt%)、十二烷基苯磺酸钠(5~15wt%)、山梨糖醇酐油酸(10~20wt%)、去离子水组成。纳米级驱油剂能进入地层微小孔喉中,通过改变岩石润湿性,置换出驱替过程中残留在微小孔喉中的油相,提高油井采收率;同时,该驱油剂能进入微小孔喉,波及体积增大,并同原油产生互溶并降低粘度,采出时互溶流体容易排出。在泵注末期,注入低砂比砂液用以支撑扩容形成的微裂缝;

[0016] (10)关井,焖井5~8天。

[0017] 作为优选地,步骤(2)中,渗吸评价实验包括如下步骤:

[0018] ①挑选岩心进行人工造缝,利用渗透率测定仪器检测岩心孔渗性,筛选出与措施井地层孔渗条件相近的岩心,将岩心进行清洗、烘干并称重,质量为 m_1 ,计算岩心中束缚水体积 V_w ,计算公式如下:

$$[0019] \quad V_w = \frac{\pi \times r^2 \times L \times \phi \times S_w}{4}$$

[0020] 其中: r -岩心半径,cm;

[0021] L -岩心长度,cm;

[0022] ϕ -孔隙度,%;

[0023] S_w -束缚水饱和度, cm^3/cm^3 。

[0024] 计算束缚水质量 m_2 ,得到束缚水饱和下的岩心质量 m_3 , m_2 计算公式如下:

$$[0025] \quad m_2 = V_w \times \rho_w$$

[0026] 其中: ρ_w 为地层水密度, g/cm^3 ;

[0027] ②建立束缚水:将准备好的岩心放入耐高压中间容器,使用真空泵抽真空,通过全

自动泵在实际储层温度、压力下饱和地层水,取出岩心并将多余地层水烘干,直至岩心质量为 m_3 ,此时岩心中的含水饱和度即为束缚水饱和度;

[0028] ③将饱和束缚水的岩心放入装有模拟油样的中间容器中,在地层温度、压力条件下饱和和油样,取出并擦拭岩心,将岩心进行称重记为 m_4 ,确定饱和油体积 V_o :

$$[0029] \quad V_o = \frac{(m_4 - m_3)}{\rho_o}$$

[0030] 其中, ρ_o 为油密度, g/cm^3 ;

[0031] ④将岩心置于地层水中进行称重,记为 m_5 ,在地层温度、压力条件下进行渗吸驱油实验,实验结束后,取出并擦拭岩心,将岩心置于地层水中进行称重,记为 m_6 ,计算得到渗吸驱油效率 R ,对比不同驱油剂 R 数值,优选 R 数值较大的纳米渗吸驱油剂,其中, R 的计算公式如下:

$$[0032] \quad R = \frac{m_5 - m_6}{m_4 - m_3}$$

[0033] 作为优选地,步骤(4)中,所述最小主应力和破裂压力的测试过程如下:

[0034] ①设备验漏,下入封隔器:对地面高压管线进行密封性检测,30分钟内压降小于1MPa视为密封性良好,下入封隔器到指定测试层位;

[0035] ②地应力测试:泵入测试流体进行地应力测试,实时记录流压随时间的变化曲线,现场施工过程中保证注入压力小于最大安全工作压力的80%,当增压到地层破裂时,压力随之下降,视现场实际施工情况决定停泵时间,通过分析实时压力变化曲线,计算地层最小主应力和破裂压力。

[0036] 作为优选地,步骤(5)中,清除井周堵塞的采取大排量、连续注入的方式。

[0037] 作为优选地,步骤(6)中,所述循环水力振荡具体为:采用变排量、短时停泵的方式注入前置工作液,以此在地层产生水力振荡。

[0038] 作为优选地,步骤(8)中,所述混合气体泡沫由体积比为4:1的二氧化碳:氮气、2.0wt%的十二烷基硫酸钠溶液、0.7wt%的胍胶溶液配置而成,胍胶溶液能有效增强泡沫工作液的稳定性及携砂能力,降低其在扩容增渗过程中的滤失。

[0039] 作为优选地,步骤(9)中,所述纳米乳液渗吸驱油剂的质量分数为0.2%,并由以下组分配制而成:10~30wt%的纳米二氧化硅、5~15wt%的十二烷基苯磺酸钠、10~20wt%山梨糖醇酐油酸,余量为去离子水。

[0040] 作为优选地,步骤(9)中,所述低砂比砂液的含砂质量百分比为10%。

[0041] 综上所述,相比于现有技术,本发明具有如下优点及益效果:

[0042] 1、相比于常规水力压裂等增产措施,本发明提供的扩容技术具有措施有效期长、改造效果好等优点;

[0043] 2、本发明在扩容改造过程中,注入纳米乳液渗吸驱油剂,该驱油剂尺寸小,易进入地层微孔喉中,与原油互溶,利于后期排出;通过润湿作用剥离吸附在岩石表面的原油,将原油从孔喉中置换出来,促进并加速其在多孔介质、天然或人工裂缝网络内的流动性;

[0044] 3、相较于水分子,本发明纳米驱油剂和气体泡沫能进入到微小的基质孔隙中,波及体积更广,实现更好的增能效果;

[0045] 4、对注入量进行优化采用的是结合集成了大数据分析的数值模拟系统,此数值模

拟系统与常规数值模拟系统的不同之处在于集成了大数据分析方法,于模型中预先导入大量实际生产数据,在模型运算过程中可实时将模拟结果与大数据结果进行对比,可提高注入量优化结果准确性。

[0046] 5、与常规水力扩容相比,本发明采用是不同于单次水力扩容的“水力扩容+混合气体泡沫二次扩容+纳米乳液渗吸驱油剂三次扩容”的复合扩容方法,可以更有利于沟通远井地带的地层裂缝,形成大规模扩容改造区域及渗透性良好的流动通道,最大程度实现地层扩容改造,延展微裂缝,提高孔道间的渗流能力,从而最大限度提高油井采收率。

附图说明

[0047] 图1为模拟软件扩容半径预测界面图;

[0048] 图2为模拟不同注入条件下的累产油量关系图;

[0049] 图3为措施前后的日产油情况对比图。

具体实施方式

[0050] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合各实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明,即所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。

[0051] 本发明提供了一种用于提高油井采收率的复合扩容方法,相较于常规的单次扩容,本发明在水力扩容的基础上,继续注入二氧化碳/氮气+胍胶溶液配制的混合气体泡沫、纳米乳液渗吸驱油剂进行多次扩容,更有利于沟通远井地带的地层裂缝,形成大规模扩容改造区域及渗透性良好的流动通道。同时,注入的气体泡沫更易进入远端地层,降低远井段未动用的油相粘度,提高原油流动性;在此基础上,继续注入的纳米乳液渗吸驱油剂能置换出微小孔隙中的油相,最大限度提高油井采收率。

[0052] 本实施例为本发明在大庆油田中的改进实例,具体步骤如下:

[0053] (1)收集目标区域各井生产数据及地质参数,包括目的层平均渗透率、储层厚度、地层孔隙度、含油饱和度、地层温压条件及该条件下的流体渗流性质、含水率等。结合各井目前生产情况及所在区块油藏地质特征、开发政策,筛选出适合进行复合扩容的措施井A井,该井措施前的生产曲线如图3所示;

[0054] (2)开展纳米乳液渗吸驱油剂评价实验,筛选渗吸驱油效果好的驱油剂,实验步骤如下(以B1驱油剂为例):

[0055] ①该措施井目的层位平均孔隙度为10.1%,平均渗透率14.1mD,将实验岩心进行人工造缝,利用渗透率测试仪测定岩心孔渗数值,筛选出与目的层位孔渗条件相近的岩心(本次实验所用岩心孔隙度9.9%,渗透率14.3mD,长度4.246cm,半径1.265cm,孔隙度14.85%),并将岩心清洗、烘干并称重,质量为 $m_1=200\text{g}$,计算岩心中束缚水体积 V_w :

$$[0056] \quad V_w = \frac{\pi \times r^2 \times L \times \emptyset \times S_w}{4}$$

[0057] 其中:r-岩心半径,cm;

[0058] L-岩心长度,cm;

[0059] $\emptyset$ -孔隙度,%;

[0060] S_w - 束缚水饱和度, cm^3/cm^3 。

[0061] 得到束缚水体积 $V_w = 0.0743 \text{cm}^3$, 被束缚水饱和后的岩心质量 $m_2 = 200.0766 \text{g}$ (地层水密度 $1.0310 \text{g}/\text{cm}^3$) ;

[0062] ②建立束缚水:将准备好的岩心耐高压中间容器,使用真空泵抽真空,利用全自动注入泵在实际储层温度 (74.3°C)、压力 (42.3MPa) 下饱和地层水,取出岩心并将多余地层水烘干,直至岩心质量 $m_3 = 200.0766 \text{g}$,此时岩心中的含水饱和度即为束缚水饱和度;

[0063] ③将饱和束缚水的岩心放入装有模拟油样 (油密度 $0.8366 \text{g}/\text{cm}^3$) 的中间容器中,在地层温度、压力条件下饱和油样,取出并擦拭岩心,将岩心进行称重得 $m_4 = 200.1893$,计算饱和油体积 V_o :

$$[0064] \quad V_o = \frac{(m_4 - m_3)}{\rho_o}$$

[0065] 其中, ρ_o 为油密度, g/cm^3 ;

[0066] 得到岩心中饱和油的体积 $V_o = 0.1347 \text{cm}^3$;

[0067] ④将岩心置于地层水中进行称重,得到 $m_5 = 200.1127 \text{g}$,在地层温度、压力条件下进行渗吸驱油实验,实验结束后,取出并擦拭岩心,将岩心置于地层水中进行称重,记为 $m_6 = 200.0731 \text{g}$,计算储层温度、压力下的渗吸驱油效率 R :

$$[0068] \quad R = \frac{m_5 - m_6}{m_4 - m_3}$$

[0069] 得到B1驱油剂的渗吸驱油效率 $R = 0.3514$,对比B1~B5驱油剂 R 数值 (表1),优选出 R 数值最大的驱油剂B3 ($R = 0.4736$) ;

[0070] 表1不同类型驱油剂 R 数值

驱油剂型号	主要组成	R
B1	10wt%纳米二氧化硅、5wt%十二烷基苯磺酸钠、10wt% 山梨糖醇酐油酸、去离子水	0.3514
B2	15wt%纳米二氧化硅、10wt%十二烷基苯磺酸钠、10wt% 山梨糖醇酐油酸、去离子水	0.3329
B3	20wt%纳米二氧化硅、10wt%十二烷基苯磺酸钠、15wt% 山梨糖醇酐油酸、去离子水	0.4736
B4	25wt%纳米二氧化硅、15wt%十二烷基苯磺酸钠、15wt% 山梨糖醇酐油酸、去离子水	0.4139
B5	30wt%纳米二氧化硅、15wt%十二烷基苯磺酸钠、20wt%	0.2988
[0071]		
[0072]	山梨糖醇酐油酸、去离子水	

[0073] (3) 根据改造层位物性参数:裂缝预测半长、储层厚度、孔隙度,设定本次 $0.2 \text{wt}\%$ 纳米乳液渗吸驱油剂注入量为 2800m^3 ,确保渗吸驱油剂波及远井地带;

[0074] (4) 向目标层位下入封隔器并注入高压流体,实时记录流压随时间的变化曲线,现场施工过程中保证注入压力小于最大安全工作压力的 80% ,当增压到地层破裂时,压力随

之下降,视现场实际施工情况决定停泵时间,通过分析实时压力变化曲线,计算地层最小主应力和破裂压力;

[0075] (5)向目标层位注入清洁流体,采用大排量($2\sim 2.5\text{m}^3/\text{min}$)、连续注入的方式,利用高速流体对井周地层进行连续水力冲击,清除井周堵塞,改善井周地层的渗流能力,为步骤(6)的扩容工作液泵注提供良好的注入环境及流动通道;

[0076] (6)向目标层位注入扩容工作液,采取变排量+回流($-0.5\sim 1\text{m}^3/\text{min}$)的注入方式,利用间歇的回流形成水力振荡波,通过不断冲击地层迫使地层岩石颗粒发生错动,产生新的剪切孔隙和裂缝。此时,注入的流体进入新产生的剪切孔隙和裂缝中,不断增大孔隙压力,进一步增大岩石颗粒间距,形成高渗透率的流动通道;

[0077] (7)步骤(6)实施过程中,现场实时采集施工压力数据,利用热流固耦合数值模拟软件分析地层在流体作用下的受力情况,如图1所示,通过反演来进行扩容半径计算,并如图2所示,结合数值模拟软件对注入量进行实时优化,尽可能提高扩容改造规模;

[0078] (8)注入由二氧化碳:氮气(体积比4:1)+十二烷基硫酸钠(2.0%)+胍胶溶液(0.7wt%胍胶)配置成的混合气体泡沫对改造层位进行二次扩容,利用气体泡沫携砂能力强和易进入微孔隙的特点,继续增大、支撑扩容区微裂缝,提高岩体渗透率,扩容后期,注入低泡沫质量的混合气体泡沫用作尾追液,有利于后期返排;胍胶溶液能有效增强泡沫工作液的稳定性及携砂能力,降低其在扩容增渗过程中的滤失;

[0079] (9)在步骤(6)、步骤(8)的两次扩容基础上,注入含纳米乳液渗吸驱油剂B3(主要由20wt%纳米二氧化硅、10wt%十二烷基苯磺酸钠、15wt%山梨糖醇酐油酸、去离子水)的工作液(驱油剂质量分数0.2%)进行三次扩容,泵注后期,注入低砂比(10%)砂液支撑扩容微裂缝,保障渗流通道不闭合。经过复合扩容,井下形成大规模扩容改造区,微裂缝整体连通性好,纳米乳液驱油剂能进入更远的地层孔隙,扩大驱油剂波及范围,置换出井筒远端未动用的油相,提高油井采收率;同时,该驱油剂同原油产生互溶并降低粘度,利于后期及时排出;

[0080] (10)关井,焖井5-8天。

[0081] 本实施例通过上述扩容,A井提采效果显著(图3所示)。同一生产天数情况下,措施前A井累计产油76.5t,复合扩容后累计产油351.8t;A井周边相邻油井措施前累计产油71.9t,单次扩容后累计产油190.0t(相同生产天数),复合扩容增油效果显著。

[0082] 以上所述实施例仅表达了本申请的具体实施方式,其描述较为具体和详细,但并不能因此而理解为对本申请保护范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本申请技术方案构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本申请的保护范围。

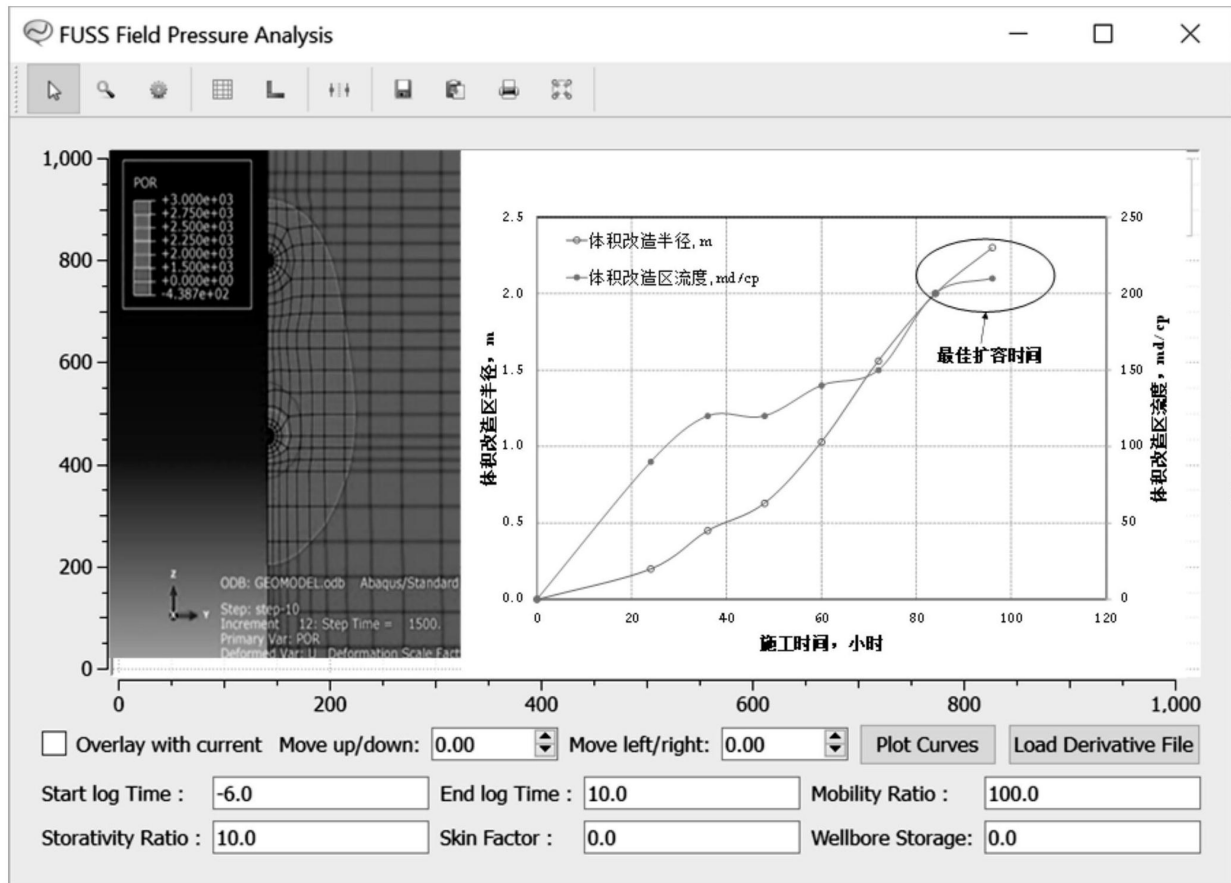


图1

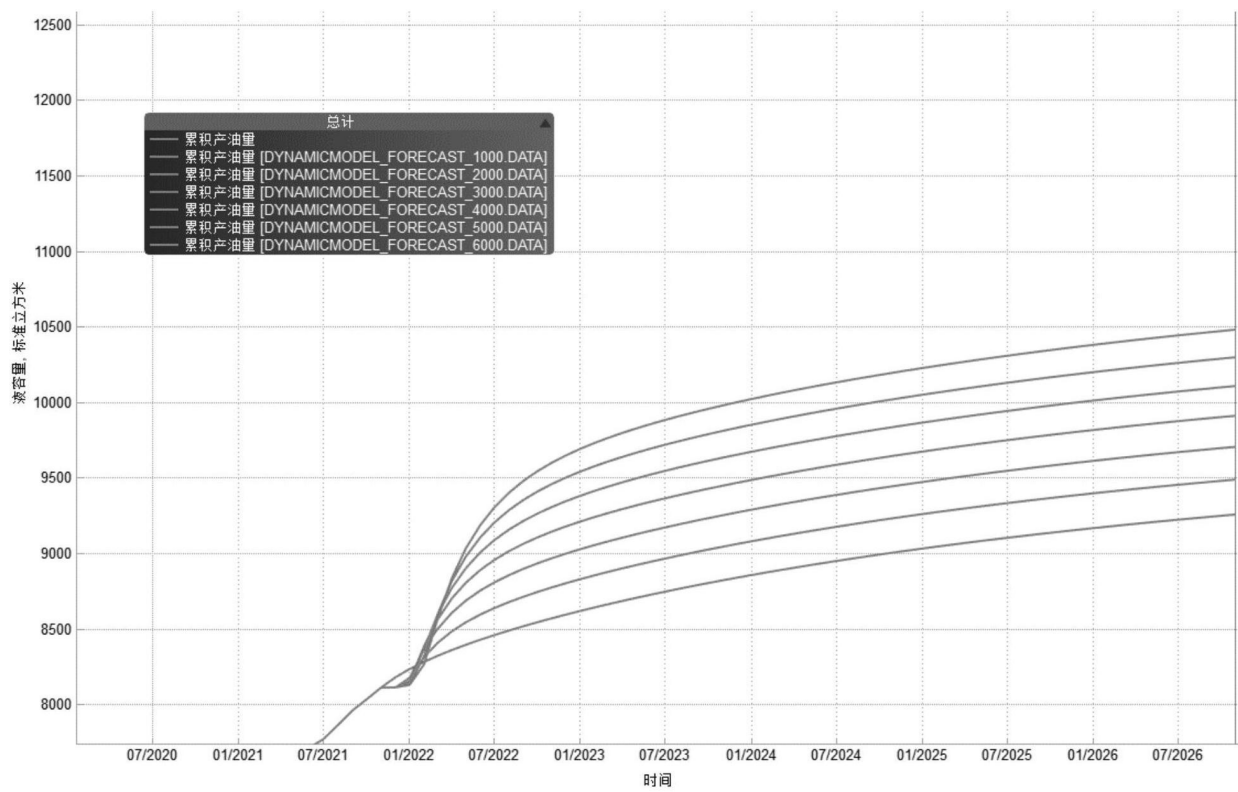


图2

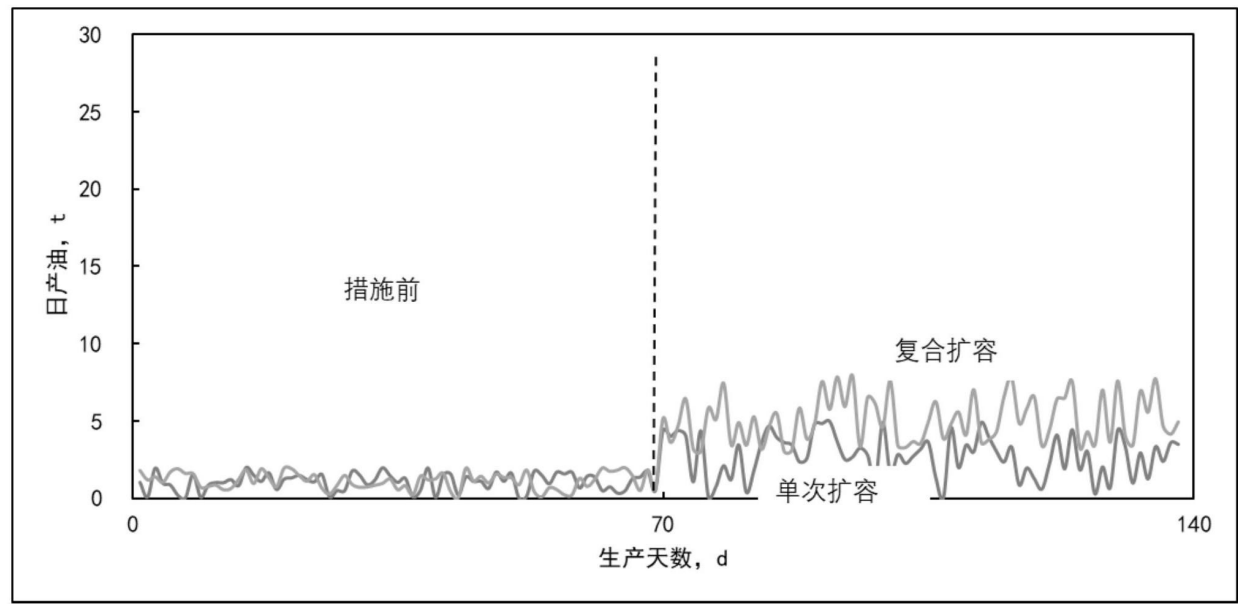


图3