



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109424350 A

(43)申请公布日 2019.03.05

(21)申请号 201710792716.3

E21B 47/002(2012.01)

(22)申请日 2017.09.05

E21B 49/00(2006.01)

(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石油勘  
探开发研究院

(72)发明人 范鑫 苏建政 张汝生 刘长印

黄志文 林鑫 贺甲元 李凤霞

孙志宇 李萍

(74)专利代理机构 北京思创毕升专利事务所

11218

代理人 孙向民 廉莉莉

(51)Int.Cl.

E21B 43/267(2006.01)

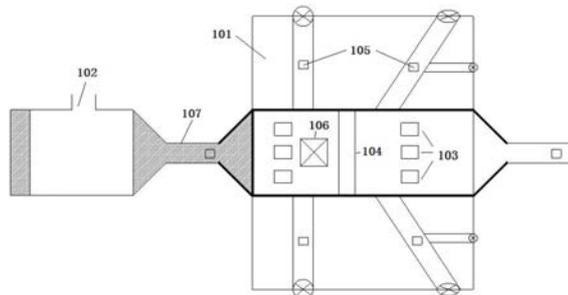
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

复杂裂缝中支撑剂运移模拟的系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种复杂裂缝中支撑剂运移模拟的系统及方法,包括:复杂裂缝网络装置,复杂裂缝网络装置为透明可视结构,复杂裂缝网络装置内部包括主干裂缝和分支裂缝;测量装置,测量装置安装于复杂裂缝网络装置上;泵送装置,泵送装置一端与压裂液和支撑剂的混合装置连接,另一端与复杂裂缝网络装置连接;高清成像观测装置,高清成像观测装置设置于主干裂缝的侧面。本发明通过浇筑技术实现真实页岩等岩芯中复杂裂缝网络的制备,模拟实际地层中水力压裂后形成的裂缝形态,并能够测量携砂液流动过程中的颗粒速度分布、流体速度分布和颗粒浓度的参数,为创新携砂液流动模拟方法、优化水力压裂泵注工艺提供一定的研究基础。



1. 一种复杂裂缝中支撑剂运移模拟的系统,其特征在于,该系统包括:  
复杂裂缝网络装置,所述复杂裂缝网络装置为透明可视结构,所述复杂裂缝网络装置内部包括主干裂缝和分支裂缝;  
测量装置,所述测量装置安装于所述复杂裂缝网络装置上;  
泵送装置,所述泵送装置一端与压裂液和支撑剂的混合装置连接,另一端与所述复杂裂缝网络装置连接;  
高清成像观测装置,所述高清成像观测装置设置于所述主干裂缝的侧面。
2. 根据权利要求1所述的复杂裂缝中支撑剂运移模拟的系统,其中,所述复杂裂缝网络装置是通过浇筑内部含有预制裂缝的透明试样制造的。
3. 根据权利要求2所述的复杂裂缝中支撑剂运移模拟的系统,其中,所述预制裂缝包括所述主干裂缝和所述分支裂缝,所述分支裂缝与所述主干裂缝呈角度相交。
4. 根据权利要求1所述的复杂裂缝中支撑剂运移模拟的系统,其中,所述主干裂缝的缝宽为4—8mm;所述分支裂缝的缝宽为1—3mm。
5. 根据权利要求1所述的复杂裂缝中支撑剂运移模拟的系统,其中,所述测量装置包括颗粒浓度测量装置、颗粒速度测量装置和压力测量装置。
6. 根据权利要求5所述的复杂裂缝中支撑剂运移模拟的系统,其中,所述颗粒浓度测量装置的测量颗粒浓度范围为1%—30%。
7. 根据权利要求5所述的复杂裂缝中支撑剂运移模拟的系统,其中,所述颗粒速度测量装置的测量速度范围为0.1—2m/s。
8. 根据权利要求5所述的复杂裂缝中支撑剂运移模拟的系统,其中,所述压力测量装置的测量压力范围为0—1Mpa。
9. 一种复杂裂缝中支撑剂运移模拟的方法,其特征在于,所述方法包括如下步骤:  
制备复杂裂缝网络装置;  
在所述复杂裂缝网络装置上安装测量装置,并在其侧面放置高清成像观测装置;  
制备压裂液并通过与所述复杂裂缝网络装置相连的泵送装置泵入所述复杂裂缝网络中;  
将支撑剂加入所述压裂液中并通过所述泵送装置泵入复杂裂缝网络中,开展水力压裂物理模拟试验,观察携砂液在裂缝中的流动规律并记录相关数据。
10. 根据权利要求9所述的复杂裂缝中支撑剂运移模拟的方法,其中,所述支撑剂设置表面荧光材料。

## 复杂裂缝中支撑剂运移模拟的系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于油气田开采技术领域,更具体地,涉及一种复杂裂缝中支撑剂运移模拟的系统及方法。

### 背景技术

[0002] 在油气田开采技术领域中,页岩油气作为一种非常重要的非常规能源,水力压裂技术已经大规模的应用于页岩油气的开采中。水力压裂是将流体以高速和高压的方式注入到地层中,在地层中形成连通的裂缝网络。在水力压裂的过程中,都会将携砂液(即支撑剂和压裂液的固液两相混合物)注入到裂缝中。在停止注入后,由于水压的降低和地应力的作用,裂缝会逐渐减小甚至闭合,此时分布于裂缝中的支撑剂就会起到支撑裂缝以防止闭合的作用,从而增加裂缝的导流能力。支撑剂在裂缝中的运移距离以及铺置范围是衡量水力压裂裂缝导流能力的重要指标。页岩油气储层的水力压裂后的裂缝网络中支撑剂流动过程非常复杂,受到复杂的裂缝几何形态与网络结构、支撑剂性质、流体性质以及施工条件等多种参数的影响。

[0003] 关于携砂液在裂缝中的流动规律,前人采用窄缝平行板进行了大量的实验研究,对携砂液的基本运移机理取得了很多的认识。但是目前所采取的这些模拟实验装置均存在一定的局限性,有的只考虑单缝的情况,有的只是小尺寸双缝的情况,且采取的都是平行板来模拟裂缝的壁面,和实际地层的裂缝网络结构相差甚远。同时实验的测量装置只是对整体的铺砂形态做了测量,对运移过程中支撑剂的速度和浓度变化并没有记录。因此,有必要提供一种复杂裂缝中支撑剂运移模拟的系统,为现场施工提供理论依据和指导。

[0004] 公开于本发明背景技术部分的信息仅仅旨在加深对本发明的一般背景技术的理解,而不应当被视为承认或以任何形式暗示该信息构成已为本领域技术人员所公知的现有技术。

### 发明内容

[0005] 本发明通过浇筑技术实现真实页岩等岩芯中复杂裂缝网络的制备,模拟实际地层中水力压裂后形成的裂缝形态,特制支撑剂在与实际支撑剂具有相同密度和直径的条件下设置表面荧光材料,并集成电阻层析成像技术、颗粒成像测速技术和高清成像技术,从而得到整个支撑剂输送过程中的速度分布、浓度分布以及压力分布。

[0006] 根据本发明的一方面,提出了一种复杂裂缝中支撑剂运移模拟的系统,该系统包括:

[0007] 复杂裂缝网络装置,所述复杂裂缝网络装置为透明可视结构,所述复杂裂缝网络装置内部包括主干裂缝和分支裂缝;

[0008] 测量装置,所述测量装置安装于所述复杂裂缝网络装置上;

[0009] 泵送装置,所述泵送装置一端与压裂液和支撑剂的混合装置连接,另一端与所述复杂裂缝网络装置连接;

- [0010] 高清成像观测装置,所述高清成像观测装置设置于所述主干裂缝的侧面。
- [0011] 优选地,所述复杂裂缝网络装置是通过浇筑内部含有预制裂缝的透明试样制造的。
- [0012] 优选地,所述预制裂缝包括所述主干裂缝和所述分支裂缝,所述分支裂缝与所述主干裂缝呈角度相交。
- [0013] 优选地,所述主干裂缝的缝宽为4—8mm;所述分支裂缝的缝宽为1—3mm。
- [0014] 优选地,所述测量装置包括颗粒浓度测量装置、颗粒速度测量装置和压力测量装置。
- [0015] 优选地,所述颗粒浓度测量装置的测量颗粒浓度范围为1%—30%。
- [0016] 优选地,所述颗粒速度测量装置的测量速度范围为0.1—2m/s。
- [0017] 优选地,所述压力测量装置的测量压力范围为0—1Mpa。
- [0018] 根据本发明的另一方面,提出了一种复杂裂缝中支撑剂运移模拟的方法,所述方法可以包括:
- [0019] 制备复杂裂缝网络装置;
- [0020] 在所述复杂裂缝网络装置上安装测量装置,并在其侧面放置高清成像观测装置;
- [0021] 制备压裂液并通过与所述复杂裂缝网络装置相连的泵送装置泵入所述复杂裂缝网络中;
- [0022] 将支撑剂加入所述压裂液中并通过所述泵送装置泵入复杂裂缝网络中,开展水力压裂物理模拟试验,观察携砂液在裂缝中的流动规律并记录相关数据。
- [0023] 优选地,所述支撑剂设置表面荧光材料。
- [0024] 本发明的有益效果在于:通过浇筑技术实现真实页岩等岩芯中复杂裂缝网络的制备,模拟实际地层中水力压裂后形成的裂缝形态,并能够测量携砂液流动过程中的颗粒速度分布、流体速度分布和颗粒浓度的参数,本发明为创新携砂液流动模拟方法、优化水力压裂泵注工艺提供一定的研究基础。
- [0025] 本发明的其它特征和优点将在随后具体实施方式部分予以详细说明。

## 附图说明

- [0026] 通过结合附图对本发明示例性实施方式进行更详细的描述,本发明的上述以及其它目的、特征和优势将变得更加明显,其中,在本发明示例性实施方式中,相同的参考标号通常代表相同部件。
- [0027] 图1示出了根据本发明的复杂裂缝中支撑剂运移模拟系统的示意性结构图。
- [0028] 图2示出了根据本发明的复杂裂缝中支撑剂运移模拟方法的步骤的流程图。
- [0029] 附图标记说明
- [0030] 101、复杂裂缝网络装置;102、压裂液和支撑剂的混合装置;103、颗粒浓度测量装置;104、颗粒速度测量装置;105、压力测量装置;106、观测装置;107、泵送装置。

## 具体实施方式

- [0031] 下面将更详细地描述本发明的优选实施方式。虽然以下描述了本发明的优选实施方式,然而应该理解,可以以各种形式实现本发明而不应被这里阐述的实施方式所限制。相

反,提供这些实施方式是为了使本发明更加透彻和完整,并且能够将本发明的范围完整地传达给本领域的技术人员。

[0032] 实施例1

[0033] 图1示出了根据本发明的复杂裂缝中支撑剂运移模拟系统的示意性结构图。

[0034] 如图1所示,在该实施例中,根据本发明的复杂裂缝中支撑剂运移模拟的系统可以包括:

[0035] 复杂裂缝网络装置101,复杂裂缝网络装置101为透明可视结构,复杂裂缝网络装置101内部包括主干裂缝和分支裂缝;

[0036] 测量装置,测量装置安装于复杂裂缝网络装置101上;

[0037] 泵送装置107,泵送装置107一端与压裂液和支撑剂的混合装置102连接,另一端与复杂裂缝网络装置101连接;

[0038] 高清成像观测装置106,高清成像观测装置106设置于主干裂缝的侧面。

[0039] 在一个示例中,复杂裂缝网络装置101是通过浇筑内部含有预制裂缝的透明试样制造的。

[0040] 在一个示例中,预制裂缝包括主干裂缝和分支裂缝,分支裂缝与主干裂缝呈角度相交。

[0041] 在一个示例中,主干裂缝的缝宽为4—8mm;分支裂缝的缝宽为1—3mm。

[0042] 具体地,应用浇筑技术制作内部含有预制裂缝的透明试样,预制裂缝由主干裂缝和分支裂缝组成,主干裂缝的缝宽4~8mm,分支裂缝的缝宽1~3mm。主干裂缝的前端和后端分别与携砂液注入口和排出口相连,分支裂缝与主干裂缝呈不同角度相交。

[0043] 在一个示例中,测量装置包括颗粒浓度测量装置103、颗粒速度测量装置104和压力测量装置105。

[0044] 在一个示例中,颗粒浓度测量装置103的测量颗粒浓度范围为1%—30%。

[0045] 具体地,颗粒浓度测量装置103采用电阻层析成像技术,通过非接触式测量携砂液流体断面的电导值,反演颗粒浓度值,测量颗粒浓度范围:1%—30%。

[0046] 在一个示例中,颗粒速度测量装置104的测量速度范围为0.1-2m/s。

[0047] 具体地,颗粒速度测量装置104采用粒子成像测速技术(PIV),通过颗粒荧光信号的收集与成像,在无干扰条件下测量复杂裂缝网络装置101不同位置处的颗粒分布和速度,测量速度范围:0.1-2m/s。

[0048] 在一个示例中,压力测量装置105的测量压力范围为0-1Mpa。

[0049] 具体地,在复杂裂缝网络装置101表面设置刻度标线,在管路的不同位置布置压力传感器,通过传感器探头与流体的接触,直接测量整个流场的压力分布,测量压力范围:0-1MPa。

[0050] 高清成像观测装置106设置于主干裂缝的侧面。采用高速摄像仪,记录携砂液流动的整个过程,可以动态记录支撑剂的水平运移和沉降,观察携砂液的运动流态,为进一步的数据分析提供依据。

[0051] 本实施例通过浇筑技术实现真实页岩等岩芯中复杂裂缝网络的制备,模拟实际地层中水力压裂后形成的裂缝形态,并能够测量携砂液流动过程中的颗粒速度分布、流体速度分布和颗粒浓度的参数,本发明为创新携砂液流动模拟方法、优化水力压裂泵注工艺提

供一定的研究基础。

#### [0052] 应用示例

[0053] 为便于理解本发明实施例的方案及其效果,以下给出一个具体应用示例。本领域技术人员应理解,该示例仅为了便于理解本发明,其任何具体细节并非意在以任何方式限制本发明。

[0054] 首先,制备复杂裂缝网络装置101,利用浇筑技术制作出内部含有预制裂缝的透明试样,试样尺寸为 $300 \times 300 \times 300\text{mm}$ 。预制裂缝由一条主干裂缝和多条分支裂缝组成,宽度分别为 $4 \sim 8\text{mm}$ 和 $1 \sim 3\text{mm}$ ,长度分别为 $300\text{mm}$ 和 $10 \sim 100\text{mm}$ ,高度分别为 $100\text{mm}$ 和 $10 \sim 50\text{mm}$ ;

[0055] 其次,在复杂裂缝网络装置101上安装颗粒浓度测量装置103、颗粒速度测量装置104以及压力测量装置105,在主干裂缝的侧面放置高清成像观测装置106,并将复杂裂缝网络装置101和泵送装置107相连;

[0056] 然后,泵送装置107前连接有一压裂液和支撑剂的混合装置102,在压裂液和支撑剂的混合装置102中制备所需要的具有一定粘度的压裂液,向整个装置系统中泵入压裂液,使压裂液在整个系统里达到循环状态,暂时不加入支撑剂;

[0057] 最后,在压裂液和支撑剂的混合装置102中,按照所需要的砂比,将一定量的支撑剂加入到压裂液中,搅拌均匀,制成携砂液并通过泵送装置注入复杂裂缝网络中。此处支撑剂是特制的,在与实际支撑剂具有相同密度和直径的条件下设置表面荧光材料,并集成电阻层析成像技术、颗粒成像测速技术和高清成像技术,从而得到整个支撑剂输送过程中的速度分布、浓度分布以及压力分布。

[0058] 实验开始后,记录流场中颗粒浓度、颗粒速度以及压力随时间的变化,同时采用高速摄影仪动态记录支撑剂的水平运移和沉降,观察携砂液的运动。实验结束后,记录裂缝底部的砂堤高度。

[0059] 本应用示例通过浇筑技术实现真实页岩等岩芯中复杂裂缝网络的制备,模拟实际地层中水力压裂后形成的裂缝形态,并能够测量携砂液流动过程中的颗粒速度分布、流体速度分布和颗粒浓度的参数,为创新携砂液流动模拟方法、优化水力压裂泵注工艺提供一定的研究基础。

[0060] 本领域技术人员应理解,上面对本发明的实施例的描述的目的仅为了示例性地说明本发明的实施例的有益效果,并不意在将本发明的实施例限制于所给出的任何示例。

#### [0061] 实施例2

[0062] 图2示出了根据本发明的复杂裂缝中支撑剂运移模拟方法的步骤的流程图。

[0063] 如图2所示,根据本发明的实施例,提供了一种复杂裂缝中支撑剂运移模拟的方法,该方法包括:步骤201,制备复杂裂缝网络装置;步骤202,在复杂裂缝网络装置上安装测量装置,并在其侧面放置高清成像观测装置;步骤203,制备压裂液并通过与复杂裂缝网络装置相连的泵送装置泵入复杂裂缝网络中;步骤204,将支撑剂加入压裂液中并通过泵送装置泵入复杂裂缝网络中,开展水力压裂物理模拟试验,观察携砂液在裂缝中的流动规律并记录相关数据。

[0064] 在一个示例中,支撑剂设置表面荧光材料。

[0065] 具体地,支撑剂起到支撑裂缝以防止闭合的作用,从而增加裂缝的导流能力,实验所用的支撑剂为特制的,在与实际支撑剂具有相同密度和直径的条件下设置表面荧光材

料,通过颗粒荧光信号的收集与成像,可以测得颗粒分布和速度。

[0066] 本实施例通过浇筑技术实现真实页岩等岩芯中复杂裂缝网络的制备,模拟实际地层中水力压裂后形成的裂缝形态,并能够测量携砂液流动过程中的颗粒速度分布、流体速度分布和颗粒浓度的参数,本发明为创新携砂液流动模拟方法、优化水力压裂泵注工艺提供一定的研究基础。

[0067] 本领域技术人员应理解,上面对本发明的实施例的描述的目的仅为了示例性地说明本发明的实施例的有益效果,并不意在将本发明的实施例限制于所给出的任何示例。

[0068] 以上已经描述了本发明的各实施例,上述说明是示例性的,并非穷尽性的,并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下,对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。

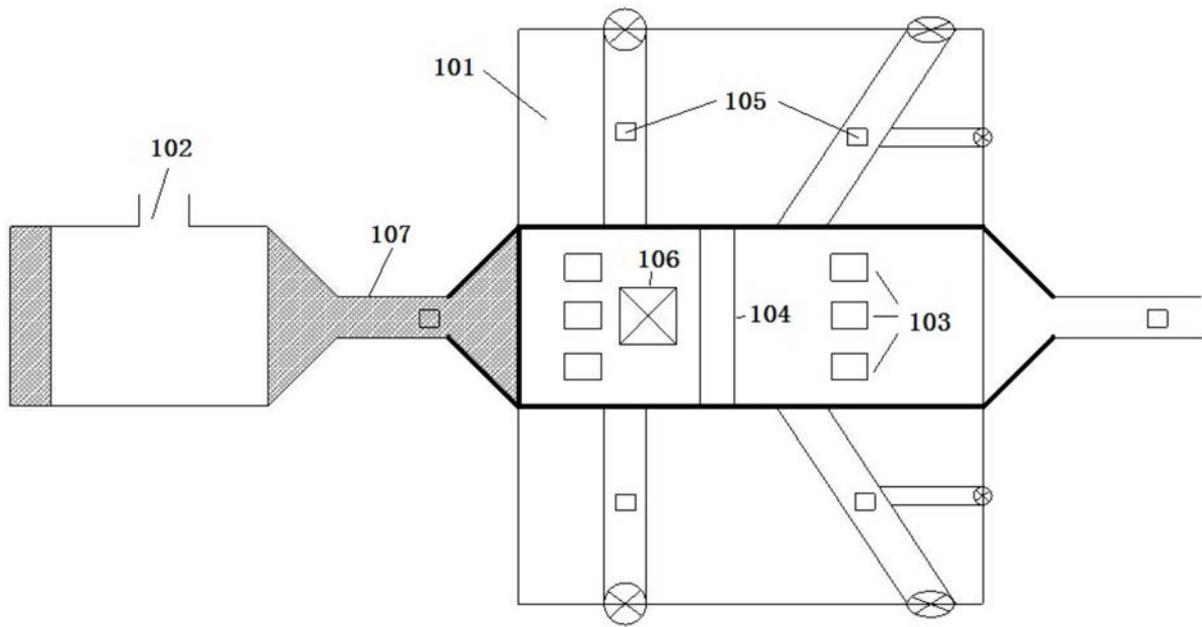


图1

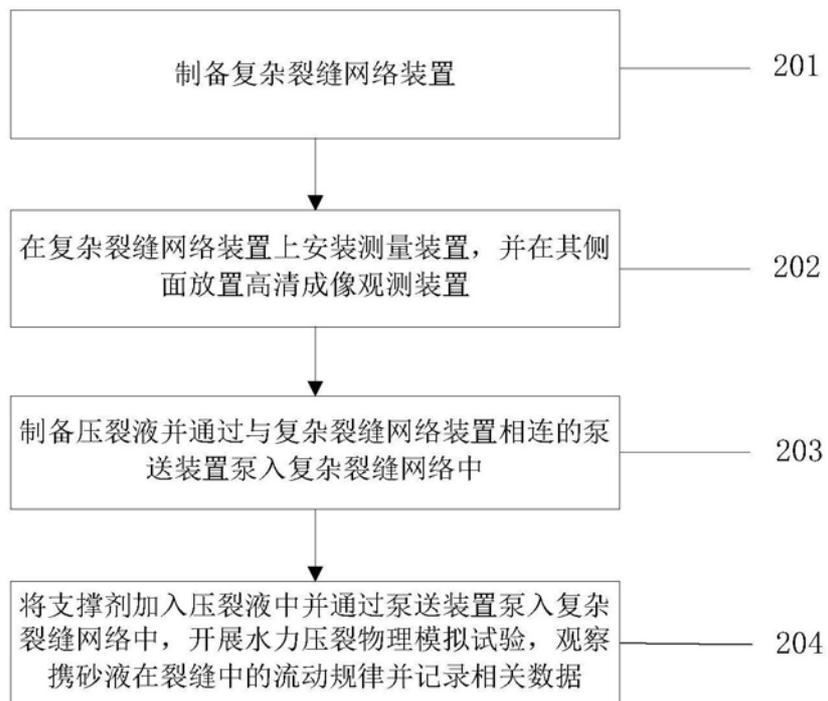


图2