(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 112253073 A
(43)申请公布日 2021.01.22

(21)申请号 202011308690.9

(22)申请日 2020.11.20

(71)申请人 重庆地质矿产研究院
地址 401120 重庆市渝北区空港兰馨大道111号

(72)发明人 陆朝晖 贺培 贾云中 刘洪 邓智 欧阳黎明 袁勇

(74)专利代理机构 重庆华科专利事务所 50123
代理人 吴兴伟 康海燕

(51)Int.Cl.
E21B 43/26(2006.01)
E21B 43/267(2006.01)
E21B 33/13(2006.01)

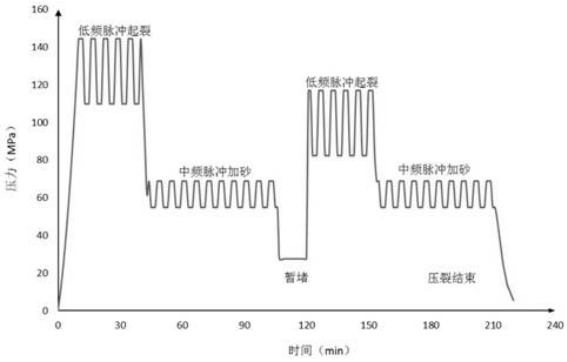
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

一种深部低渗储层阶跃式脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法

(57)摘要

本发明属于石油天然气压裂改造领域，涉及一种深部低渗储层阶跃式脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法，包括地面和井眼准备、射孔、起裂、生成复杂缝网、加砂、暂堵、循环脉冲致裂等多个步骤。并配合带底封的脉冲水力能量生成工具，通过脉冲循环冲击致裂、疲劳损伤和暂堵转向，在深部储层中形成复杂缝网，解决深部储层难形成复杂缝网难的问题，在较低起裂压裂条件下降低了诱发微地震振幅，提高压裂改造作业效率、有效性和地震安全性。本方法也适用于针对低渗透储层的重复压裂改造。



CN 112253073 A

1.一种深部低渗储层阶跃式脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,井眼准备:进行通井和洗井作业;

步骤2,射孔作业:使用连续油管把连接的井下脉冲水力能量生成工具下入到指定射孔段,使用第一地面压裂车组为带底封的井下脉冲水力能量生成工具提供80～140MPa压力、0.2～1.0m^3/min排量的第一流体,在井下形成超高压脉冲磨料水射流,完成射孔;第一流体为压裂液;

步骤3,储层起裂:使用第二地面压裂车组在连续油管与套管环空之间泵入1.0～3.0m^3/min低排量高压的第二流体,使第一流体和第二流体混合,并配合使用井下脉冲水力能量生成工具生成高压脉冲水力能量,完成储层岩石破裂;第二流体为压裂液;

步骤4,生成主裂缝和少量复杂缝网:提高第二流体排量至8.0～15.0m^3/min,提高第一流体排量至2.0～5.0m^3/min,泵注本压裂段10～20%的压裂液量,生成主裂缝和少量复杂缝网;

步骤5,复杂缝网进一步扩展和加砂:按照预定加砂比在第二流体中阶梯式加入支撑剂,同时根据地层破裂和裂缝延伸压力确定控制第一流体排量和压力,加砂比控制在体积比15%以内;或者,停止第一流体注入,按照预订加砂比,第二流体排量维持8.0～15.0m^3/min,阶梯式加入支撑剂,加砂比控制在体积比15%以内;

步骤6,暂堵和进一步形成缝网:继续第一流体的注入,在第二流体中加入混合后的可降解暂堵剂和可降解颗粒,可降解颗粒与可降解暂堵剂的体积比为1:1～2:1,可降解颗粒的粒径大于可降解暂堵剂,暂堵完成后,重复步骤3、4、5,直到泵注完第一指定射孔段所需支撑剂和压裂液,第一段压裂结束;

步骤7,第二段及后续段压裂:重复步骤2、3、4、5、6;期间根据现场工况,每完成3～5段压裂,及时更换井下脉冲水力能量生成工具。

2.如权利要求1所述深部低渗储层阶跃式脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法,其特征在于,所述步骤2中,井下脉冲水力能量生成工具为带底封的脉冲水力能量生成工具。

3.如权利要求1所述深部低渗储层阶跃式脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法,其特征在于,所述步骤2中,井下脉冲水力能量生成工具依靠第一压裂车组提供的第一流体驱动,依靠工具配置的喷腔,进一步提高第一流体压力至200～250MPa。

4.如权利要求1所述深部低渗储层阶跃式脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法,其特征在于,所述步骤3、4、5,控制第一地面压裂车组和更换井下脉冲水力能量生成工具,提供频率0.001～0.1HZ、0.01～1HZ、0.1～10HZ的低、中、高频三种、排量为1.0～5.0m^3/min的第一流体。

5.如权利要求1所述深部低渗储层阶跃式脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法,其特征在于,所述步骤5中,第二流体中加入砂比控制在体积比为5～12%。

6.如权利要求1所述深部低渗储层阶跃式脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法,其特征在于,述步骤2、3、4、5中,根据地层的破裂和复杂缝网延伸压力,通过调节第一地面压裂车组泵注参数,并与井下脉冲水力能量生成工具配合使用,实时关闭第一流体或生成特定频率和压力的脉冲水力能量流体。

7.如权利要求1所述深部低渗储层阶跃式脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法,其特征在

于,所述步骤6中,可降解暂堵剂的粒径为60～140目多种规格,为可降解暂堵剂和可降解颗粒总质量的60～80%;可降解颗粒的粒径为2～14mm多种规格,为可降解暂堵剂和可降解颗粒总质量的20～40%。

8.如权利要求7所述深部低渗储层阶跃式脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法,其特征在于,所述步骤6中,可降解暂堵剂的粒径为60、80、100、120或140目中的至少一种。

9.如权利要求7所述深部低渗储层阶跃式脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法,其特征在于,所述步骤6中,可降解颗粒的粒径为2、4、6、8、10、12或14mm中的至少一种。

10.如权利要求1所述深部低渗储层阶跃式脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法,其特征在于,所述步骤7,更换井下脉冲水力能量生成工具时需先解封,再使用连续油管取至地面。

一种深部低渗储层阶跃式脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法

技术领域

[0001] 本发明涉及低渗透性储层压裂改造技术领域，具体涉及一种深部储层脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法。

背景技术

[0002] 低孔低渗性储层的勘探开发已成为油气资源勘探开发的重要方向，水力压裂改造技术是实现这类资源开发的主要技术手段，其中页岩储层就是这类低孔低渗性储层典型代表。当前，3500m以浅的页岩储层水力压裂改造技术已经实现有效经济开发，3500～4500m中深层页岩储层水力压裂改造技术也取得较大突破；而4500m以深页岩储层水力压裂改造技术正在探索中，现阶段常规水平井分段水力压裂技术存在以下问题：①深部页岩处于超高温(≥130℃)、高地应力(≥100MPa)、高水平应力差(10～20MPa)、高渗透压的复杂环境，水力压裂起裂压力较高，裂缝扩展方向单一，且页岩在深部由弹脆性向延塑性变化，不利于形成大面积渗流通道的复杂缝网；②水力压裂过程中大量的压裂液注入地层，短时间内地层能量激增，可能会活化隐伏断层诱发地震、造成地下水污染等灾害。

[0003] 现有技术中，形成多裂缝的暂堵压裂技术，主要是建立在常规压裂工艺技术上，通过不同暂堵剂、工作液或一定的工艺来实现，形成复杂缝网有限，暂无适合于深层储层压裂改造。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种深部储层脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法，以在深部低渗储层中形成复杂缝网，克服现有深层低渗储层水力压裂改造中难以形成复杂缝网的难题。

[0005] 本发明的技术方案为：一种深部低渗储层阶跃式脉冲循环暂堵复杂缝网压裂方法，包括以下步骤：

[0006] 步骤1，地面和井眼准备：进行通井和洗井作业；

[0007] 步骤2，射孔作业：使用连续油管把连接的井下脉冲水力能量生成工具下入到指定射孔段，使用第一地面压裂车组为带底封的井下脉冲水力能量生成工具提供80～140MPa压力、0.2～1.0m^3/min排量的第一流体，在井下形成超高压脉冲磨料水射流，完成射孔；第一流体为压裂液

[0008] 步骤3，储层起裂：使用第二地面压裂车组在连续油管与套管环空之间泵入1.0～3.0m^3/min低排量高压的第二流体，使第一流体和第二流体混合，并配合使用井下脉冲水力能量生成工具生成高压脉冲水力能量，完成储层岩石破裂；第二流体为压裂液；

[0009] 步骤4，生成主裂缝和少量复杂缝网：提高第二流体排量至8.0～15.0m^3/min，提高第一流体排量至2.0～5.0m^3/min，泵注本压裂段10～20％的压裂液量，生成主裂缝和少量复杂缝网；

[0010] 步骤5，复杂缝网进一步扩展和加砂：按照预定加砂比在第二流体中阶梯式加入支

撑剂，同时根据地层破裂和裂缝延伸压力确定控制第一流体排量和压力，加砂比控制在体积比15％以内；或者，停止第一流体注入，按照预订加砂比，第二流体排量维持8.0～15.0m^3/min，并阶梯式加入支撑剂，加砂比控制在体积比15％以内；

[0011] 步骤6，暂堵和进一步形成缝网：继续第一流体的注入，在第二流体中加入混合后的可降解暂堵剂和可降解颗粒，可降解颗粒与可降解暂堵剂的体积比为1:1～2:1，可降解颗粒的粒径大于可降解暂堵剂；暂堵完成后，重复步骤3、4、5，直到泵注完第一段所有支撑剂和压裂液，第一段压裂结束；

[0012] 步骤7，第二段及后续段压裂：重复步骤2、3、4、5、6；期间根据现场工况，每完成3～5段压裂，及时更换井下脉冲水力能量生成工具。

[0013] 具体的，所述步骤2中，井下脉冲水力能量生成工具为带底封的脉冲水力能量生成工具。

[0014] 优选地，所述步骤2中，井下脉冲水力能量生成工具依靠第一压裂车组提供的第一流体驱动，依靠工具配置的喷腔，进一步提高第一流体压力至200～250MPa。完成不同相位和数量射孔数，需下入井下脉冲水力能量生成工具前配置不同型号喷腔或喷嘴。

[0015] 优选地，所述步骤3、4、5，控制第一地面压裂车组和更换井下脉冲水力能量生成工具，能提供频率0.001～0.1HZ、0.01～1HZ、0.1～10HZ的低、中、高频三种、排量为1.0～5.0m^3/min的第一流体。采用低频水力能量能在更低水力压力下生成主裂缝，中频水力能量能够产生一定的主裂缝和微裂缝，高频水力能量能生成更多分支裂缝和微裂缝。

[0016] 优选地，所述步骤5中，第二流体中加入砂比控制在体积比为5～12％。

[0017] 优选地，所述步骤2、3、4、5中，可根据地层的破裂和复杂缝网延伸压力，通过调节第一地面压裂车组泵注参数，并与井下脉冲水力能量生成工具配合使用，可实时关闭第一流体或生成特定频率和压力的脉冲水力能量流体。

[0018] 优选地，所述步骤6中，可降解暂堵剂的粒径为60～140目多种规格，为可降解暂堵剂和可降解颗粒总质量的60～80％；可降解颗粒的粒径为2～14mm多种规格，为可降解暂堵剂和可降解颗粒总质量的20～40％。

[0019] 进一步的，所述步骤6中，可降解暂堵剂的粒径为60、80、100、120或140目中的至少一种。

[0020] 进一步的，所述步骤6中，可降解颗粒的粒径为2、4、6、8、10、12或14mm中的至少一种。

[0021] 优选地，所述步骤7，更换井下脉冲水力能量生成工具时需先解封，再使用连续油管取至地面。

[0022] 步骤1中，在通井洗井作业中还需进行第一地面压裂车组、第二地面压裂车组、配套工具和压裂液准备。

[0023] 本发明方法步骤5中按照逐渐提高加砂比数值的方式称为阶梯式；第一流体排量和压力主要是根据地层破裂和裂缝延伸压力确定。

[0024] 在实际使用过程中，井下脉冲水力能量生成工具型号根据压裂设计方案要求提供的脉冲水力参数确定，提供远高于第一流体的压力，能够有效地在套管上完成射孔。步骤3、4、5中，提供0.001～0.1HZ、0.01～1HZ、0.1～10HZ的低、中、高频三种流体，其中低频流体更易致裂储层和形成更长的裂缝；高频流体更易在主裂缝周围形成更多小裂缝，使裂缝更复

杂;中频流体兼顾高频和低频流体优势,效果居中。

[0025] 步骤4和5中不同的第二流体排量可实现携带不同砂比的支撑剂,大排量可携带更高砂比的支撑剂。步骤6中多规格的可降解暂堵剂和颗粒可实现暂时封堵不同尺寸大小裂缝,实现更多裂缝的封堵,不同可降解暂堵剂和颗粒的比例,更能实现微裂缝的封堵。

[0026] 所述带底封的脉冲水力能量生成工具为“201811389155.3连续油管拖动带底部坐封式的脉冲水力压裂工具及方法”中所示,见图4和图5。其具体结构包括:相连的脉冲频率调节装置以及液体喷射装置;所述脉冲频率调节装置包括:内部设有通道11的转子6,其用于供连续油管15提供的一部分第一流体通过;布设在所述转子6外围的转动件3和固定件4,所述转动件3随所述转子6一体转动,所述转子6相对于所述固定件4转动;布设在所述转子6外围的定子7,所述转子6相对于所述定子7转动,所述定子7与所述转子6之间偏心设置,且所述定子7和所述转子6之间具有间隙16;所述液体喷射装置具有:连通所述转子6内的通道11以及所述定子7和所述转子6之间形成的间隙的喷腔8,以及与所述喷腔8连通的喷嘴9;连续油管15提供的第一流体中的一部分通过所述转子6内的通道11流入至所述喷腔中,所述转子6带动所述转动件3相对于所述固定件4转动,使所述转动件3与所述固定件4之间以预定脉冲频率形成供连续油管15提供的第一流体中的另一部分间歇式通过的第一通过区域,通过所述第一通过区域的另一部分第一流体经过所述转子6和所述定子7之间的间隙16流入至所述喷腔8中,两部分第一流体在所述喷腔8内混合后形成的脉冲水力能量通过所述喷嘴9向外喷射;所述转子6由进入至所述通道11中的一部分第一流体和进入至所述间隙16中的另一部分第一流体共同驱动后进行转动。

[0027] 为了使得连续油管15提供的第一流体能够在进入工具时分成两部分进入,在转子6的头部连接有一个分流结构14和旋转接头2,分流结构14连接在旋转接头2和转子6之间,旋转接头2和连续油管15旋转连接,使得连续油管15不会随转子6一起转动;旋转接头2内部具有供连续油管15提供的第一流体通过的管道,分流结构14内部具有和连续油管15内部的管道连通的腔室,并且,该腔室还和转子6内部的通道11以及转动件3和固定件4之间形成的第一通过区域连通。这样,连续油管15提供的第一流体通过旋转接头2内部的管道进入至分流结构14的腔室中,在该腔室的出口处进行分流,一部分第一流体流入转子6内的通道11中,另一部分第一流体则流入至转动件3和固定件4之间的第一通过区域中。

[0028] 本发明的有益效果

[0029] 本发明方法利用脉冲水力能量多次反复循环冲击易形成复杂裂缝的优势,再结合暂堵转向形成新裂缝,进一步形成新的裂缝,更易在深部低渗储层形成复杂缝网,解决了深部低渗储层难形成复杂缝网难的问题。在较低起裂压裂条件下降低了诱发微地震振幅,提高压裂改造作业效率、有效性和地震安全性。本方法也适用于针对低渗透储层的重复压裂改造。特别的,配合的带底封的脉冲水力能量生成工具,直接减少每段压裂中桥塞下入和坐封作业,减少了作业次数,提高了压裂改造效率,节省了压裂成本。

附图说明

[0030] 图1、本发明实施例1压裂施工的压力变化曲线示意图。

[0031] 图2、本发明实施例2压裂施工的压力变化曲线示意图。

[0032] 图3、本发明实施例3压裂施工的压力变化曲线示意图。

[0033] 图4、带底封的脉冲水力能量生成工具的结构示意图。

[0034] 图5、带底封的脉冲水力能量生成工具分别和套管与连续油管配合的结构示意图。

[0035] 图6、带底封的脉冲水力能量生成工具的转子、定子以及液体喷射装置的配合结构图。

[0036] 附图标记说明:2—旋转接头,3—转动件,4—固定件,5—螺杆外壳,6—转子,7—定子,8—喷腔,9—喷嘴,11-通道,14—分流结构,15-连续油管,16—间隙。

具体实施方式

[0037] 为了对本发明的技术特征、目的和有益效果有更加清楚的理解,现结合以下具体实施例及说明书附图对本发明的技术方案进行以下详细说明,但不能理解为对本发明的可实施范围的限定。

[0038] 某井井深6050m,水平段长1500,垂深4185m,水平段从4550m到6050m,压裂分为25段,平均每段60m,每段射孔8簇,第一流体和第二流体合计最大排量20m^3/min,采用三种不同方式进行压裂施工,具体见实施例1、2、3。第一流体和第二流体均为压裂液。

[0039] 实施例1采用本发明方法进行压裂

[0040] 具体包括以下步骤:

[0041] 步骤1,地面和井眼准备:第一地面压裂车组、第二地面压裂车组、配套工具和压裂液准备,进行通井和洗井作业。

[0042] 步骤2,射孔作业:使用连续油管把连接的井下脉冲水力能量生成工具下入到指定射孔段,按照预定压裂射孔方案,使用第一地面压裂车组提供120MPa压力、0.8m^3/min排量的第一流体,使带底封的井下脉冲水力能量生成工具生成超高压脉冲水射流,第一流体压力提高至200～250MPa,完成射孔。

[0043] 步骤3,储层起裂:使用第二地面压裂车组在连续油管与套管环空之间泵入1.0～3.0m^3/min低排量高压第二流体,同时第一地面压裂车组在连续油管中泵入排量0.2～1.0m^3/min的第一流体,使第一流体和第二流体混合,使井下脉冲水力能量生成工具能够生成频率0.01～1HZ,压力50％～80％地层最高破裂压力值的脉冲水力能量流体,储层起裂。

[0044] 步骤4,生成主裂缝和少量复杂缝网:从步骤3开始第一流体泵注3～10min后,提升第一流体排量至2.0～5.0m^3/min、第二流体排量至8.0～15.0m^3/min,泵注本压裂段10％的压裂液量。

[0045] 步骤5,复杂缝网进一步扩展和加砂:按照6％、9％、12％三种加砂比,在第二流体排量8.0～15.0m^3/min中阶梯式加入支撑剂,第一流体排量2.0～5.0m^3/min、频率0.01～1HZ,完成加砂。

[0046] 步骤6,暂堵和进一步形成缝网:继续第一流体的注入,在第二流体中加入大小粒径混合的可降解暂堵剂和可降解颗粒,大粒径的可降解颗粒与小粒径的可降解暂堵剂比例一般为3:2,可降解暂堵剂目数60、100目,用量占可降解暂堵剂和可降解颗粒总质量的60～80％,可降解颗粒粒径8、12mm,用量占可降解暂堵剂和可降解颗粒总质量的20～40％。重复步骤3、4、5,直到泵注完第一指定射孔段所需支撑剂和压裂液,第一段压裂结束。

[0047] 步骤7,第二段及后续段压裂:重复步骤2、3、4、5、6;期间根据现场工况,每完成3～5段压裂,及时更换井下脉冲水力能量生成工具。

[0048] 压裂施工的压力变化见图1。

[0049] 实施效果显示，通过裂缝形态和复杂程度分析，本实施例压裂改造最长裂缝长度为250～350m，裂缝宽度30～120m、裂缝高度40～60m，实现改造体积SRV3200万方，较常规同类水力压裂方法改造体积SRV提高约500万方，裂缝复杂程度显著增加，裂缝长度增加10～30m。

[0050] 实施例2采用本发明方法进行压裂

[0051] 具体包括以下步骤：

[0052] 步骤1，地面和井眼准备：第一地面压裂车组、第二地面压裂车组、配套工具和压裂液准备，进行通井和洗井作业。

[0053] 步骤2，射孔作业：使用连续油管把连接的井下脉冲水力能量生成工具下入到指定射孔段，按照预定射孔方案，使用第一地面压裂车组为带底封的井下脉冲水力能量生成工具提供80～140MPa压力、0.2～1.0m^3/min排量的第一流体，在井下形成超高压脉冲磨料水射流，第一流体压力提高至200～250MPa，完成射孔。

[0054] 步骤3，储层起裂：使用第二地面压裂车组在连续油管与套管环空之间泵入1.0～3.0m^3/min低排量高压的第二流体，第一地面压裂车组在连续油管中泵入排量2.0～5.0m^3/min的第一流体，使井下脉冲水力能量生成工具能够生成频率0.001～0.1HZ的低频第一流体，直到储层岩石起裂。

[0055] 步骤4，生成主裂缝和少量复杂缝网：提高第二流体排量至8.0～15.0m^3/min，第一流体维持排量2.0～5.0m^3/min，泵注本压裂段15％的压裂液量，生成主裂缝和少量复杂缝网。

[0056] 步骤5，复杂缝网进一步扩展和加砂：按照6％、9％、12％三种加砂比，在第二流体中阶梯式加入支撑剂，第一流体维持排量2.0～5.0m^3/min、频率降至0.01～1HZ，完成加砂。

[0057] 步骤6，暂堵和进一步形成缝网：继续第一流体的注入，在第二流体中加入大小粒径混合的可降解暂堵剂和可降解颗粒，大粒径的可降解颗粒与小粒径的可降解暂堵剂比例一般为3:2，可降解暂堵剂目数60、100目，用量占可降解暂堵剂和可降解颗粒总质量的60～80％，可降解颗粒粒径8、12mm，用量占可降解暂堵剂和可降解颗粒总质量的20～40％。重复步骤3、4、5，直到泵注完第一指定射孔段所需支撑剂和压裂液，第一段压裂结束。

[0058] 步骤7，第二段及后续段压裂：重复步骤2、3、4、5、6、7；期间根据现场工况，每完成3～5段压裂，及时更换井下脉冲水力能量生成工具。

[0059] 压裂施工的压力变化见图2。

[0060] 实施效果显示，通过裂缝形态和复杂程度分析，本实施例压裂改造最长裂缝长度为240～350m，裂缝宽度40～120m、裂缝高度40～60m，实现改造体积SRV3100万方，较常规同类水力压裂方法改造体积SRV提高约400万方，裂缝复杂程度显著增加，裂缝长度平均增加10～30m。

[0061] 实施例3采用本发明方法进行压裂

[0062] 包括以下步骤：

[0063] 步骤1，地面和井眼准备：第一地面压裂车组、第二地面压裂车组、配套工具和压裂液准备，进行通井和洗井作业。

[0064] 步骤2，射孔作业：使用连续油管把连接的井下脉冲水力能量生成工具下入到指定

射孔段，按照预定射孔方案，使用第一地面压裂车组为带底封的井下脉冲水力能量生成工具提供80～140MPa压力、0.2～1.0m^3/min排量的第一流体，在井下形成超高压脉冲磨料水射流，第一流体压力提高至200～250MPa，完成射孔。

[0065] 步骤3，储层起裂：使用第二地面压裂车组在连续油管与套管环空之间泵入1.0～3.0m^3/min低排量高压的第二流体，第一地面压裂车组在连续油管中泵入排量0.2～1.0m^3/min的第一流体，使井下脉冲水力能量生成工具能够生成频率0.001～0.1HZ、压力50～80％地层最高破裂压力值的低频脉冲水力能量第一流体，储层起裂。

[0066] 步骤4，生成主裂缝和少量复杂缝网：从步骤3开始第一流体泵注3～10min后，提升第一流体排量至2.0～5.0m^3/min、第二流体排量至8.0～15.0m^3/min，泵注本压裂段20％的压裂液量，生成主裂缝和少量复杂缝网。

[0067] 步骤5，复杂缝网进一步扩展和加砂：停止第一流体注入，按照6％、9％、12％三种加砂比，第二流体排量维持8.0～15.0m^3/min，并阶梯式加入支撑剂，完成加砂。

[0068] 步骤6，暂堵和进一步形成缝网：继续第一流体的注入，在第二流体中加入大小粒径混合的可降解暂堵剂和可降解颗粒，可降解颗粒大粒径与小粒径可降解暂堵剂比例一般为3:2，可降解暂堵剂目数80、100目，用量占可降解暂堵剂和可降解颗粒总质量的60～80％，可降解颗粒粒径4、8mm，用量占可降解暂堵剂和可降解颗粒总质量的20～40％。重复步骤3、4、5，直到泵注完第一指定射孔段所需支撑剂和压裂液，第一段压裂结束。

[0069] 步骤7，第二段及后续段压裂：重复步骤2、3、4、5、6；期间根据现场工况，每完成3～5段压裂，及时更换井下脉冲水力能量生成工具。

[0070] 压裂施工的压力变化见图3。

[0071] 实施效果显示，通过裂缝形态和复杂程度分析，本实施例压裂改造最长裂缝长度为260～360m，裂缝宽度40～125m、裂缝高度40～62m，实现改造体积SRV3250万方，较常规同类水力压裂方法改造体积SRV提高约550万方，裂缝复杂程度显著增加，裂缝长度平均增加10～40m。

[0072] 上述实施例只对其中一些本发明的一个或多个实施例进行了描述，但是本领域普通技术人员应当了解，本发明可以在不偏离其主旨与范围内以许多其它的形式实施。因此，所展示的例子与实施方式被视为示意性的而非限制性的，在不脱离如所附各权利要求所定义的本发明精神及范围的情况下，本发明可能涵盖各种的修改与替换。

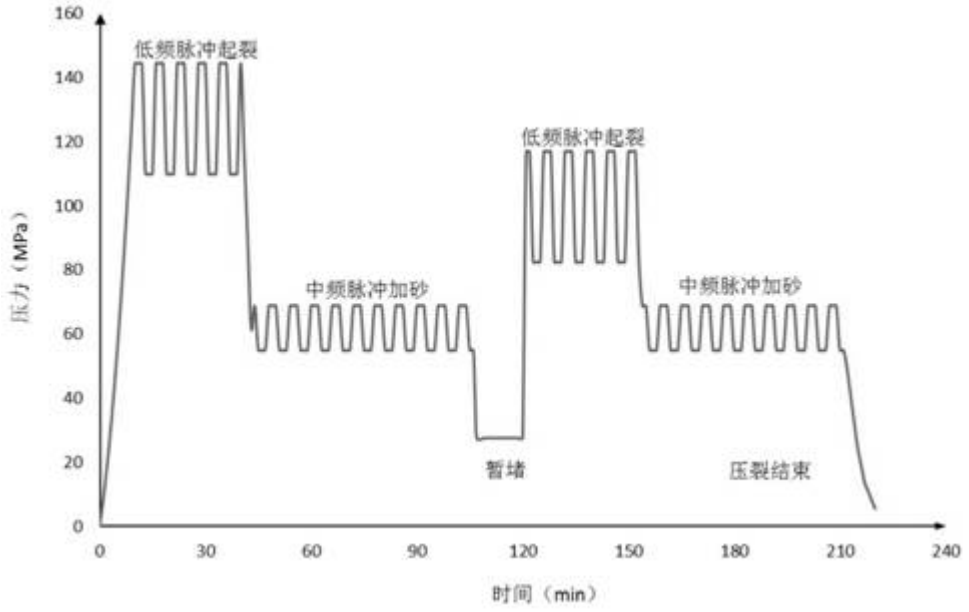

低频脉冲起裂
低频脉冲起裂
中频脉冲加砂
中频脉冲加砂
暂堵
压裂结束
压力（MPa）
时间（min）
0
20
40
60
80
100
120
140
160
0
30
60
90
120
150
180
210
240

图1

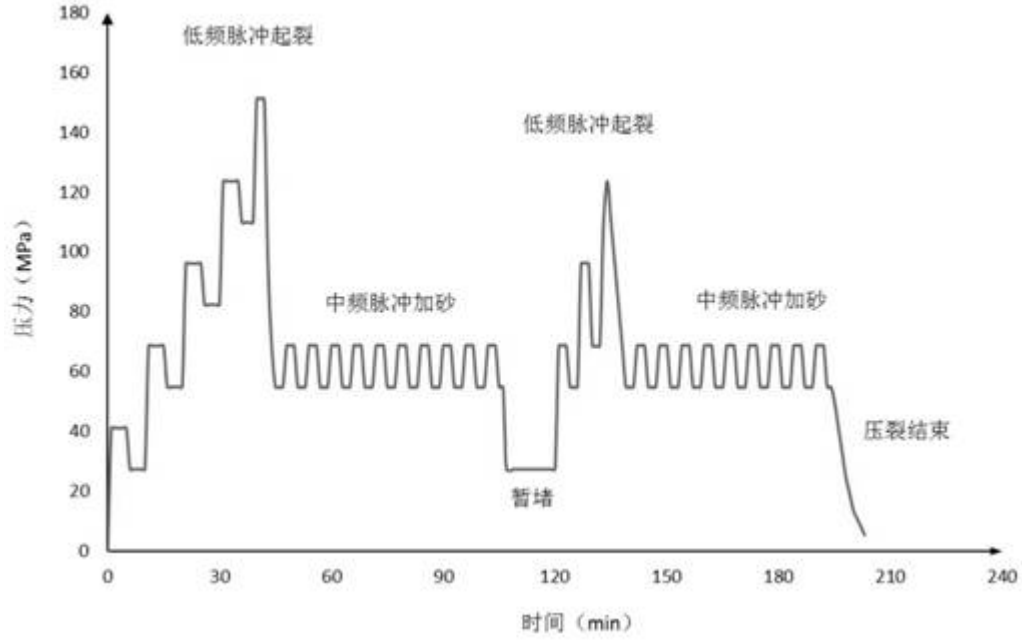

低频脉冲起裂
低频脉冲起裂
中频脉冲加砂
中频脉冲加砂
暂堵
压裂结束
压力（MPa）
时间（min）
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
0
30
60
90
120
150
180
210
240

图2

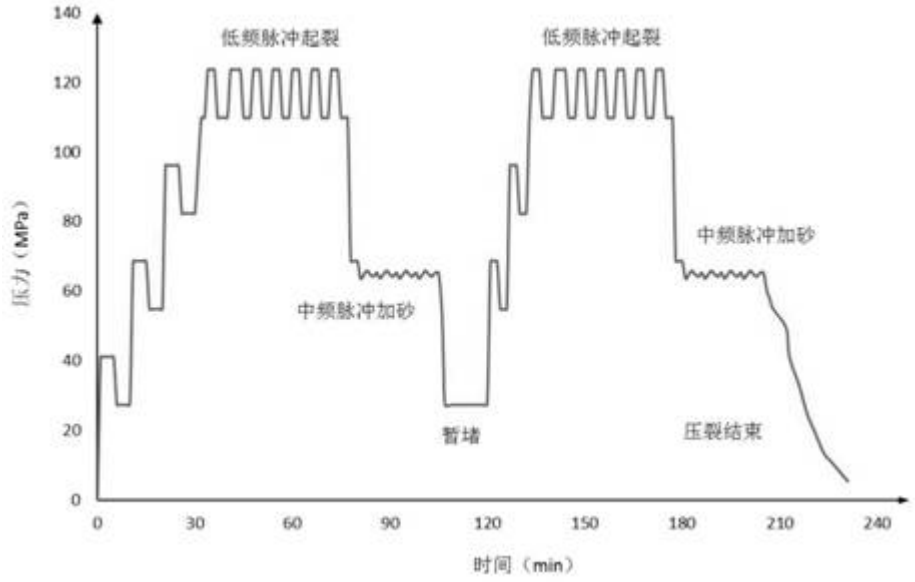

140
120
100
80
60
40
20
0
压力（MPa）
低频脉冲起裂
低频脉冲起裂
中频脉冲加砂
中频脉冲加砂
暂堵
压裂结束
0
30
60
90
120
150
180
210
240
时间（min）

图3

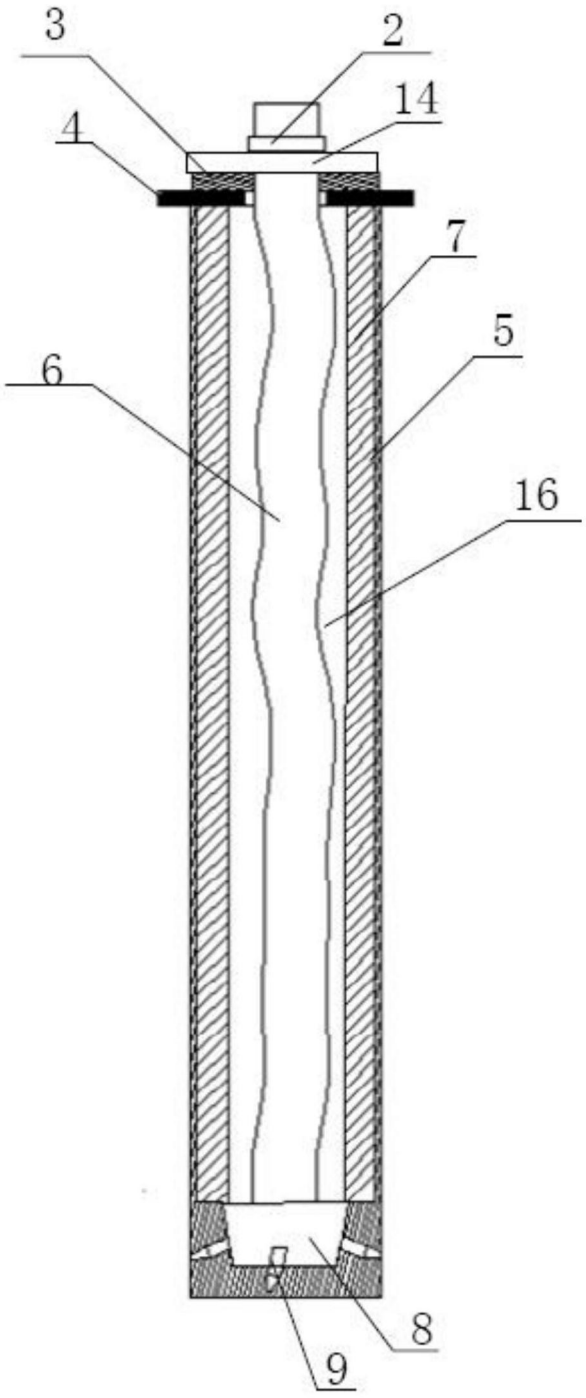


图4

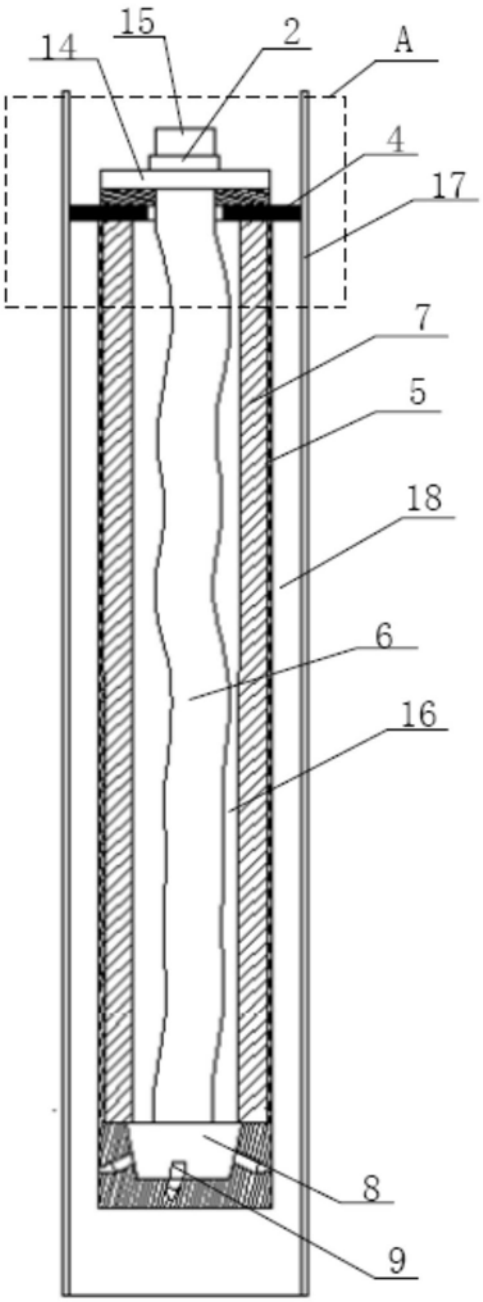


图5

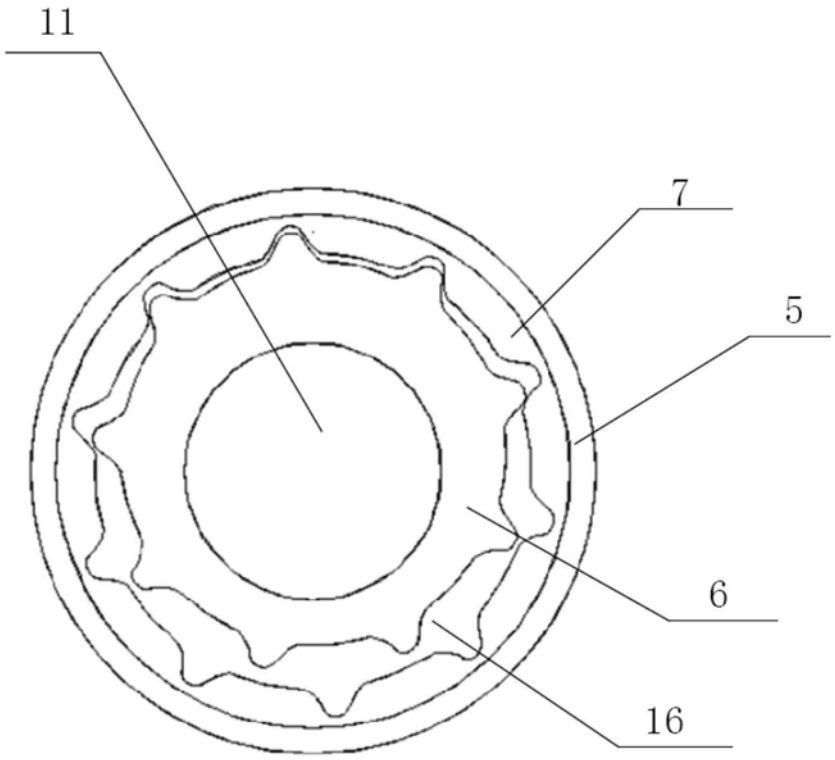


图6