



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106285602 B

(45)授权公告日 2019.04.19

(21)申请号 201610700865.8

(22)申请日 2016.08.22

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106285602 A

(43)申请公布日 2017.01.04

(73)专利权人 中国科学院力学研究所
地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72)发明人 李世海 周东 范永波 冯春

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390
代理人 胡剑辉

(51)Int.Cl.
E21B 43/26(2006.01)
E21B 43/16(2006.01)

(56)对比文件

CN 101636555 A,2010.01.27,
CN 105332684 A,2016.02.17,
CN 104806219 A,2015.07.29,
US 2011198083 A1,2011.08.18,
WO 2015023726 A3,2015.07.02,
WO 2015023726 A2,2015.02.19,
CN 102704922 A,2012.10.03,
US 2003141073 A1,2003.07.31,

审查员 马琳

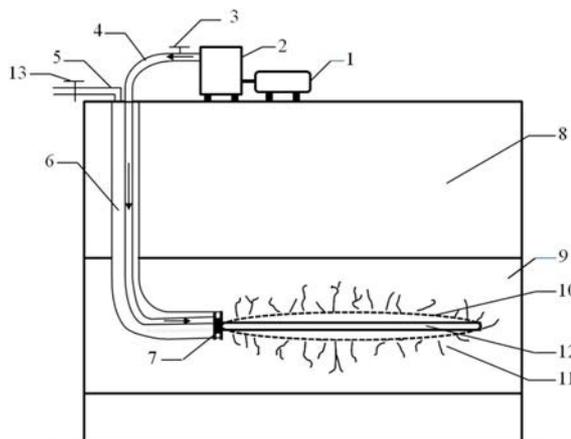
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种用于页岩气开发的二氧化碳粉化开采装置及方法

(57)摘要

本发明提供了用于页岩气开发的二氧化碳粉化开采装置,包括相互连接的终端控制系统、高压CO₂供给系统、输运系统、卸压设备;所述终端控制系统用于控制所述高压CO₂供给系统、卸压设备;所述高压CO₂供给系统用于存储和供给高压CO₂液体;所述输运系统用于将高压CO₂液体输运到页岩储层;所述卸压设备用于使位于页岩储层中的高压CO₂快速卸压。本发明让高压CO₂液体渗入页岩储层内部,在页岩裂隙和孔隙中形成内部均匀压力场,然后在特定压力下突然卸荷,形成高压力梯度,致使页岩近区粉化、远区破裂,页岩气可自动析出并收集。利用本发明进行页岩气开采,可大大降低CO₂的注入压力,从而节约成本,且粉化和破碎的页岩使得页岩气析出更为彻底,大大提高了采收率。



1. 一种用于页岩气开发的二氧化碳粉化开采装置,其特征在于:包括相互连接的终端控制系统、高压CO₂供给系统、输运系统、卸压设备;所述终端控制系统用于控制所述高压CO₂供给系统、卸压设备;所述高压CO₂供给系统用于存储和供给高压CO₂液体;所述输运系统用于将高压CO₂液体输运到页岩储层;所述卸压设备用于使位于页岩储层中的高压CO₂快速卸压,其中,使高压CO₂液体渗入页岩储层内部,在页岩裂隙和孔隙中形成内部均匀压力场,然后在特定压力下突然卸荷,形成高压力梯度,致使页岩近区粉化、远区破裂;

其中,所述终端控制系统和所述高压CO₂供给系统位于地层上部;所述输运系统和卸压设备位于页岩气开采井筒内;所述高压CO₂供给系统提供压力7MPa的高压CO₂液体;所述输运系统包括CO₂液体输运管道、出气管道;所述卸压设备包括爆破装置、防爆系统。

2. 如权利要求1所述的开采装置,其特征在于:

所述高压CO₂供给系统与所述CO₂输运管道的上端连接,其间设有第一阀门,可通过所述终端控制系统控制CO₂的供给量和供给压力;所述CO₂液体输运管道下端连接页岩储层中预先开凿出的粉化仓;出气管道下端连接井筒上口,其间设有第二阀门;所述第一阀门、第二阀门均为单向阀,用于控制管道的开闭和流向;所述第一阀门只允许CO₂从所述高压CO₂供给系统向粉化仓流动;所述第二阀门只允许气体从井筒流出。

3. 如权利要求2所述的开采装置,其特征在于:

所述爆破装置为无线控制电路瞬时引爆,所述防爆系统为双防爆片,以提高加压的稳定性,通过控制防爆片间的压差来控制防爆片的破裂时机。

4. 一种采用如权利要求1-3任一所述的开采装置的开采方法,其特征在于,包括如下步骤:

a) 所述终端控制系统控制高压CO₂供给系统通过输运系统向页岩储层中缓慢注入高压CO₂液体;

b) 达到设计要求后停止注入CO₂;

c) 通过终端控制系统控制卸压设备使位于页岩储层中的高压CO₂快速卸压;重复步骤a)-c);

d) 通过输运系统将页岩气排出至地面。

5. 如权利要求4所述的开采方法,其特征在于,所述步骤a)具体包括:

1) 所述终端控制系统控制高压CO₂供给系统通过输运系统向页岩储层中预先开凿出的粉化仓缓慢注入高压CO₂液体;

2) 所述终端控制系统根据设计控制CO₂注入量和注入时间,监测注入压力。

6. 如权利要求5所述的开采方法,其特征在于,所述步骤b)具体包括:

1) 所述终端控制系统根据储层特性确定注入时间和注入量;

2) 达到设计要求后停止注入CO₂;

3) 抽净井筒中的多余CO₂,打开出气管道的阀门,使井筒与大气连通。

7. 如权利要求6所述的开采方法,其特征在于,所述步骤c)具体包括:

1) 终端控制系统引爆爆破装置;

2) 防爆片被打开,粉化仓迅速卸压,其中所述爆破装置为无线控制电路瞬时引爆,所述防爆系统为双防爆片,以提高加压的稳定性,通过控制防爆片间的压差来控制防爆片的破裂时机。

8. 如权利要求6所述的开采方法,其特征在于,所述步骤d)具体包括:

- 1) 粉化和破裂区域的页岩气通过出气管道迅速排出;
- 2) 为防止井筒堵塞,卸压完成后应尽快用水冲洗井筒,将井筒中的页岩粉末洗出。

一种用于页岩气开发的二氧化碳粉化开采装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于页岩气开发领域,具体涉及一种用于页岩气开发的CO₂粉化开采技术。

背景技术

[0002] 我国有丰富的页岩气储量及可开发量,借助于水平井和水力压裂技术可以进行工业开发。然而,水力压裂技术除了成功率低之外,应用于中国不具有可持续发展性。其一是成本高是美国开发成本的3-4倍;其二是用水量大,不适合我国页岩气资源丰富水资源缺乏的区块。开发适合我国国情、可持续发展且具有独立知识产权的页岩气开发新方案、新工艺具有重要的战略意义和经济效益。中国页岩气开发的技术核心是在3000-4000米地层深处的岩体内形成复杂的裂隙缝网。工程的目标是要提高成功率、降低生产成本、节约水资源。在中国专家完成了技术引进、消化、创新之后,仍然不能形成适合我国国情的技术工艺的情况下,亟需突破现有技术方案的框架,寻求新的节能环保且高效的页岩气开采工艺。

[0003] 目前,对于页岩气压裂方法,大体上以水力压裂为主。总的来看,水平井加分段压裂是目前页岩气开发应用最广泛的方式。目前常用的分段压裂改造技术:从作用形式来看有多级压裂、膨胀式压裂、水力喷射压裂、多井同步压裂等;从压裂介质看又可分为清水压裂、纤维压裂、二氧化碳压裂、氮气压裂、液化石油气压裂等。但不管选用何种压裂方式,最终目的都是构造有效的裂缝网络,获得更大的网络裂缝面积,以增加采收率和产出量。然而,目前的压裂改造大都依靠经验的积累和现场的反复测试调整,周期长、成本高。我国目前的页岩气开发区块中,除焦石坝区块的产量满足商业化开发需求外,其余大部分效果并不理想。一口页岩气水平井需要万方水、千方砂,压裂压力需要几十上百兆帕,钻完井及压裂成本在0.8亿—1.0亿元左右。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种节能环保且高效的用于页岩气开发的二氧化碳粉化开采装置及方法。

[0005] 为了解决上述问题,本发明提供一种用于页岩气开发的二氧化碳粉化开采装置,包括相互连接的终端控制系统、高压CO₂供给系统、输运系统、卸压设备;所述终端控制系统用于控制所述高压CO₂供给系统、卸压设备;所述高压CO₂供给系统用于存储和供给高压CO₂液体;所述输运系统用于将高压CO₂液体输运到页岩储层;所述卸压设备用于使位于页岩储层中的高压CO₂快速卸压。

[0006] 进一步,所述终端控制系统和所述高压CO₂供给系统位于地层上部;所述输运系统和卸压设备位于页岩气开采井筒内;所述高压CO₂供给系统提供压力7MPa的高压CO₂液体;所述输运系统包括CO₂液体输运管道、出气管道;所述卸压设备包括爆破装置、防爆系统。

[0007] 进一步,所述高压CO₂供给系统与所述CO₂输运管道的上端连接,其间设有第一阀门,可通过所述终端控制系统控制CO₂的供给量和供给压力;所述CO₂液体输运管道下端连接页岩储层中预先开凿出的粉化仓;出气管道下端连接井筒上口,其间设有第二阀门;所述

第一阀门、第二阀门均为单向阀,用于控制管道的开闭和流向;所述第一阀门只允许CO₂从所述高压CO₂供给系统向粉化仓流动;所述第二阀门只允许气体从井筒流出。

[0008] 进一步,所述爆破装置为外部控制系统无线控制电路瞬时引爆,所述防爆系统为双防爆片,以提高加压的稳定性,通过控制防爆片间的压差来控制防爆片的破裂时机。

[0009] 本发明还提供一种所述的开采装置的开采方法,包括如下步骤:

[0010] a) 所述终端控制系统控制高压CO₂供给系统通过输运系统向页岩储层中缓慢注入高压CO₂液体;

[0011] b) 达到设计要求后停止注入CO₂;

[0012] c) 通过终端控制系统控制卸压设备使位于页岩储层中的高压CO₂快速卸压;

[0013] 重复步骤a)-c);

[0014] d) 通过输运系统将页岩气排出至地面。

[0015] 进一步,所述步骤a)具体包括:

[0016] 1) 所述终端控制系统控制高压CO₂供给系统通过输运系统向页岩储层中预先开凿出的粉化仓缓慢注入高压CO₂液体;

[0017] 2) 所述终端控制系统根据设计控制CO₂注入量和注入时间,监测注入压力。

[0018] 进一步,所述步骤b)具体包括:

[0019] 1) 所述终端控制系统根据储层特性确定注入时间和注入量;

[0020] 2) 达到设计要求后停止注入CO₂;

[0021] 3) 抽净井筒中的多余CO₂,打开所述出气管道的阀门,使井筒与大气连通。

[0022] 进一步,所述步骤c)具体包括:

[0023] 1) 终端控制系统引爆爆破装置;

[0024] 2) 防爆片被打开,粉化仓迅速卸压。

[0025] 进一步,所述步骤d)具体包括:

[0026] 1) 粉化和破裂区域的页岩气迅速通过出气管道排出;

[0027] 2) 为防止井筒堵塞,卸压完成后应尽快用水冲洗井筒,将井筒中的页岩粉末洗出。

[0028] 相对于现有技术,本发明具有下列技术效果:

[0029] 与现有CO₂压裂技术不同,本发明提出的方法并非利用气体高压直接致裂,而是让高压CO₂液体渗入页岩储层内部,在页岩裂隙和孔隙中形成内部均匀压力场,然后在特定压力下突然卸荷,形成高压梯度,致使页岩近区粉化、远区破裂。粉化的页岩在几十微米量级,可通过鼓风运输至地面,页岩气也可自动析出并收集。重复上述加-卸载过程,可有效扩大粉化致裂范围。利用该方法进行页岩气开采,可以大大降低CO₂的注入压力,仅需大约7MPa左右,从而节约成本,且粉化和破碎的页岩使得页岩气析出更为彻底,大大提高了采收率。

附图说明

[0030] 图1为本发明高压CO₂注入的渗流加载过程示意图;

[0031] 图2为卸压粉化后的页岩储层示意图;

[0032] 图3a为小规模页岩粉化实验前页岩块的照片;

[0033] 图3b为小规模页岩粉化实验后页岩粉的照片。

具体实施方式

[0034] 下文中将结合附图对本发明的实施例进行详细说明。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互任意组合。

[0035] 实施例一:

[0036] 如图1-2所示,本发明提供一种用于页岩气开发的二氧化碳粉化开采装置,包括相互连接的终端控制系统1、高压CO₂供给系统2、运输系统、卸压设备;终端控制系统1用于控制高压CO₂供给系统2、卸压设备;高压CO₂供给系统2用于存储和供给高压CO₂液体;运输系统用于将高压CO₂液体运输到页岩储层9;卸压设备用于使位于页岩储层9中的高压CO₂快速卸压。

[0037] 终端控制系统1和高压CO₂供给系统2位于地层上部;运输系统和卸压设备位于页岩气开采井筒6内;高压CO₂供给系统2提供压力7MPa的高压CO₂液体;运输系统包括CO₂液体运输管道4、出气管道5;卸压设备包括爆破装置及防爆系统7。

[0038] 高压CO₂供给系统2与CO₂运输管道的上端连接,其间设有第一阀门3,可通过终端控制系统1控制CO₂的供给量和供给压力;CO₂液体运输管道4下端连接页岩储层9中预先开凿出的粉化仓;出气管道5下端连接井筒6上口,其间设有第二阀门13;第一阀门3、第二阀门13均为单向阀,用于控制管道的开闭和流向;第一阀门3只允许CO₂从高压CO₂供给系统2向粉化仓流动;第二阀门13只允许气体从井筒6流出。

[0039] 爆破装置为外部控制系统无线控制电路瞬时引爆,防爆系统为双防爆片,以提高加压的稳定性,通过控制防爆片间的压差来控制防爆片的破裂时机。

[0040] 利用本发明对页岩储层9进行的CO₂粉化开采的方法:上覆地层8中打竖直井筒6,页岩储层9中打水平井或竖直井,布设上述设备,各部分注意密封,线路要衔接牢固并采取相应的防护加固措施;打开CO₂液体运输管道4上的第一阀门3,通过终端控制系统1控制高压CO₂供给系统2向粉化仓12和防爆片间注入CO₂,根据设计控制CO₂注入量和注入时间,监测注入压力;根据储层特性确定注入时间和注入量,达到设计要求后停止注入CO₂,并抽净井筒6中的多余CO₂,打开出气管道5上的第二阀门13使井筒6与大气连通;通过终端控制系统1引爆爆破装置,使防爆片打开,粉化仓12迅速卸压,粉化仓12附近的页岩由于高应力梯度发生粉化,稍远的区域由于应力变化也会发生不同程度的破裂;重复加-卸载过程,破裂区的裂隙可进一步扩大有效粉化范围;粉化和破裂区域的页岩气迅速通过出气管道排出;由于粉化作用,粉化区10的页岩气采收率将大大提高,同时也完成了压裂的过程,页岩储层9中的页岩气会沿破裂区的裂缝通道渗出,从而获得稳定的气流;为防止井筒6堵塞,卸压完成后应尽快用水冲洗井筒6,将井筒6中的页岩粉末洗出。

[0041] 如图1-2所示,本实施例为水平页岩气井,运输管道的大小和尺寸、CO₂的压力和注入量可根据现场需要而定。CO₂压力取7MPa,压力精度1%,防爆片采用双铝板装置,设P1和P2分别为粉化仓内CO₂压力和双层防爆片之间的CO₂压力。两套防爆片材质和几何尺寸完全一致,防爆片的破板压力(3.5Mpa)相对比较稳定。加压时可同步升压,当 $P1-P2 < 3.5\text{Mpa}$ 且 $P2 < 3.5\text{Mpa}$ 时,即 $P1-3.5\text{Mpa} < P2 < 3.5\text{Mpa}$,处于稳定状态;当 $P1-P2 < 3.5\text{Mpa}$ 且 $P2 = 3.5\text{Mpa}$ 时,即 $P1 < 7\text{Mpa}$,且 $P2 = 3.5\text{Mpa}$,外侧铝板先破坏,进而,内侧铝板在接近于7Mpa的内外压力差条件下破坏。同时,采用爆破实现快速卸荷的目的,爆破响应时间为20~30ms。当储层的压力保持在7MPa后,认为粉化仓附近的页岩基本饱和,快速卸压后,页岩由于高地应力差作用而发

生粉化,远区会产生碎块和裂缝(图2)。利用专用钻井设备更换防爆片,并重复上述加压-卸载过程,逐步扩大粉化致裂范围。每次瞬时卸压会有部分页岩粉喷出,及时向井筒6内充气将页岩粉冲出,或利用高压吸尘系统将页岩粉吸出,以防堵塞。粉化后的页岩和破裂区的页岩会析出大量页岩气体,粉化作用使得页岩气开采十分彻底。粉化仓12由图1中的条状扩大为图2中的椭圆状。

[0042] 先导实验:

[0043] 如图3所示,将页岩块(图3a)置于95mm直径的钢管中,钢管一端封闭,另一端为防爆片,然后往筒内注入2.5kg的液态CO₂,静置一段时间让页岩块内的CO₂饱和,爆破筒一端引爆炸药将防爆片打开,瞬时卸压。实验结果是:页岩块变为100目左右的细粉末(图3b),说明利用CO₂粉化技术进行页岩气开采在技术上是可行的。

[0044] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

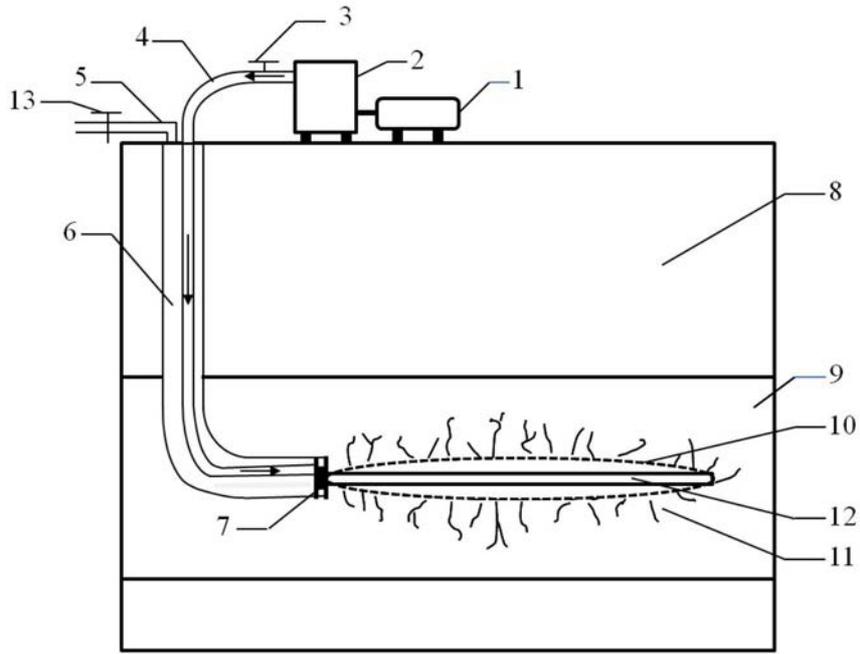


图1

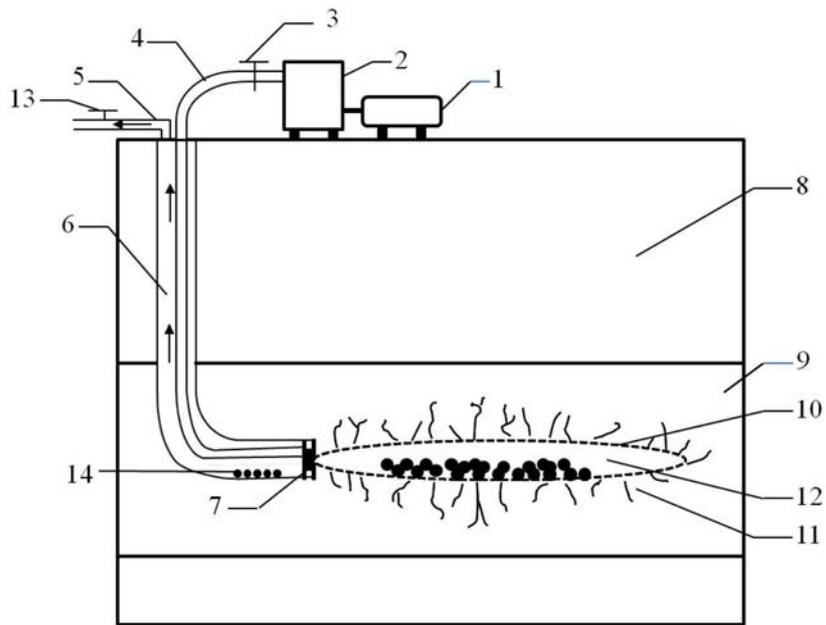


图2



图3a



图3b