



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116427891 A

(43) 申请公布日 2023. 07. 14

(21) 申请号 202310405777.5

(22) 申请日 2023.04.14

(71) 申请人 中南大学

地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号

(72) 发明人 郭懿德 黄麟淇 李夕兵 孙景楠

(74) 专利代理机构 长沙永星专利商标事务所
(普通合伙) 43001

专利代理师 柳莺

(51) Int. Cl.

E21B 43/114 (2006.01)

E21B 43/26 (2006.01)

E21B 49/00 (2006.01)

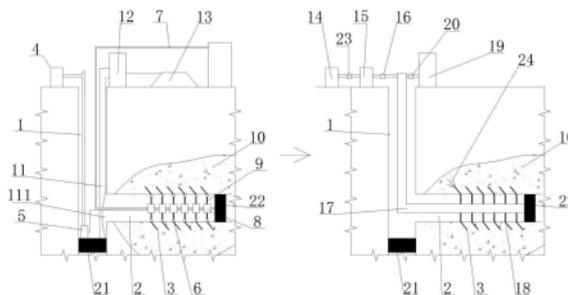
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置及方法,包括激光热剥落组件、动态水力压裂组件和岩屑收集组件。本发明利用激光瞬间加热页岩储层表面以产生距离和方位可控的射孔分布并在射孔周围的储层中形成的复杂热裂缝,能降低深地储层压裂难度、提高页岩气解析速率、诱导后续水力压裂压裂裂缝向压裂区域定向起裂,以使裂缝形成于所要定向压裂区域内,克服了现有定向射孔存在的技术难题;同时,基于该射孔方法的动态水力压裂及其组合压裂技术可以实现深层页岩高温高应力开采环境下的复杂多变的水力压裂优势倾角设计,进而创造更多不受地应力控制的水力压裂有效区域。



1. 一种定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置, 安装于页岩气井内, 其特征在于: 包括激光热剥落组件、动态水力压裂组件和岩屑收集组件,

所述页岩气井包括竖直井筒(1) 和与该竖直井筒连通布置的水平井筒(2), 在水平井筒的筒壁上开有定向射孔(3);

所述激光热剥落组件包括依次电性连接的激光控制器(4)、激光发生器(5) 和激光头(6), 在水平井筒内架设有导向管(7), 在导向管上安装有若干水平位置可调的定位箱(8), 在定位箱上安装有与定向射孔相对应布置的伸缩杆(9), 激光头置于伸缩杆末端, 激光发生器将激光传至激光头, 激光头通过定向射孔对水平井筒外的页岩储层(10) 进行热剥落;

所述岩屑收集组件包括依次连接的吸屑管(11)、岩屑收集盒(12) 和吸尘电机(13), 所述吸屑管插入竖直井筒内, 在吸屑管上开有正对水平井筒布置的吸屑口(111);

所述动态水力压裂组件包括依次连接的压裂液罐(14)、增压泵(15)、第一控制阀(16)、水力压裂管(17) 和若干定向水力喷嘴(18), 压裂液罐和增压泵均置于页岩气井外, 水力压裂管的末端穿过竖直井筒置于水平井筒内, 定向水力喷嘴连接于水力压裂管末端并与定向射孔相对应布置, 压裂液罐中的压裂液经过增压泵、水力压裂管及定向水力喷嘴送入水平井筒中, 通过定向射孔对页岩储层进行静态水力压裂; 在页岩气井外设有脉冲发生器(19), 所述脉冲发生器通过第二控制阀(20) 与水力压裂管相连接, 脉冲发生器驱动水力压裂管的压裂液对页岩储层进行动态水力压裂。

2. 根据权利要求1所述的定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置, 其特征在于: 在水平井筒下方的竖直井筒内设有第一封隔器(21), 激光器发生器置于第一封隔器上。

3. 根据权利要求1所述的定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置, 其特征在于: 在水平井筒末端设有第二封隔器(22), 所述导向管固定于第二封隔器中心。

4. 根据权利要求1所述的定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置, 其特征在于: 在压裂液罐与增压泵之间设有用于添加支撑剂的补料口(23)。

5. 根据权利要求1所述的定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置, 其特征在于: 所述定位箱间的间距与对应定向射孔间的间距相一致。

6. 根据权利要求1所述的定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置, 其特征在于: 所述伸缩杆由地表遥控控制进行周角旋转。

7. 根据权利要求1所述的定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置, 其特征在于: 所述吸屑管的内径为5-10cm。

8. 根据权利要求1所述的定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置, 其特征在于: 所述脉冲发生器集控制模块于一体, 可产生的脉冲加载率范围为 10^{-3} - 10^3 GPa/s。

9. 根据权利要求1所述的定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置, 其特征在于: 所述吸屑口正对水平井筒布置并完全覆盖水平井筒至竖直井筒底区域。

10. 一种定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化方法, 其特征在于包括如下步骤:

S1、选取页岩储层(10) 的完整页岩岩芯, 切割成边长为200mm的立方体页岩试样;

S2、对立方体页岩试样开展激光照射诱导热剥落实验, 记录立方体页岩试样剥落表面发生明显熔化时的激光发射功率, 用于井下热剥落射孔;

S3、综合利用地震、测井、油藏数值模拟的资料解释结果,确定储层区域地应力变化,确定定向压裂区域的具体参数,合理设计定向射孔(3)的数量和方位、水力压裂加载率以及对应工作模式;

S4、在地层中连通布置竖直井筒(1)和水平井筒(2),且竖直井筒外侧为上覆岩层,水平井筒置于页岩储层(10)内,在水平井筒的筒壁上设置定向射孔;

S5、地表完成激光头(6)、伸缩杆(9)、定位箱(8)与导向管(7)的安装,完成激光控制器(4)、激光发生器(5)和激光头(6)间的电性连接,将导向管放入水平井筒,同时放入激光发生器(5),将导向管末端固定于第二封隔器(22)中心处,激光器发生器固定在第一封隔器(21)上;

S6、地表完成吸屑管(11)、岩屑收集盒(12)和吸尘电机(13)的电性连接,将吸屑管放入竖直井筒,使其吸屑口(111)正对水平井筒布置并完全覆盖水平井筒至竖直井筒底区域;

S7、地表遥控伸缩杆处于预定空间状态;

S8、开启激光控制器,控制激光发生器激发预定功率稳定激光束,经光纤传输至激光头,照射目标的页岩储层,并同时开启吸尘电机,通过吸屑管清理热剥落定向射孔产生的岩屑;

S9、完成热剥落后,提升吸屑管,同时调整激光控制器的工作模式,使激光发生器以不产生热剥落的发射功率继续激发激光束,经激光头照射已经形成的定向射孔,进一步增加页岩气解析速率并形成孔眼周围的复杂热裂纹;

S10、吸屑管提升至地表后,关闭激光控制器,提升导向管;

S11、快速下放安装组装有定向水力喷嘴(18)的水力压裂管(17),下放完成后,与支撑剂混合后的压裂液经增压泵(15)输送至水力压裂管;

S12、当水力压裂管内的流体压力达到预定值,关闭增压泵以及第一控制阀(16);

S13、开启脉冲发生器(19)和第二控制阀(20),将脉冲发生器产生的预定加载率的水力脉冲由水力压裂管、定向水力喷嘴沿定向射孔方向喷射,诱导热裂纹扩展并冲击压裂形成水力裂缝(24);

S14、评估压裂效果,可根据实际情况情况进一步调整后续压裂液罐、支撑剂、增压泵、第一控制阀、第二控制阀与脉冲发生器的工作模式,达到最优压裂效果的压裂组合方案。

定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于深地油气开采相关技术领域,尤其涉及一种定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置及方法。

背景技术

[0002] 非常规油气,尤其是页岩气,是一种公认的分布广、储量大的石油天然气资源,是我国常规油气的重要接替资源。页岩气的主要成分为 CH_4 ,常以吸附态和游离态存在于页岩地层中。由于页岩渗透率极低,一般小于 0.001mD ,这使得页岩气储层具有自生自储的特点,常规开采方法难以形成工业气流,因此超过90%的页岩气储层在开采时必须进行储层改造,使储层产生复杂的裂隙网络,才能让裂隙和孔隙中处于吸附态和游离态的页岩气被顺利采出。

[0003] 水力射孔和水力压裂是目前页岩气储层改造的两个重要环节。目前,绝大部分水力射孔都基于常规聚能射孔,且布孔方式一般为均匀的螺旋布孔,存在射孔完井程度低和射孔穿深不足的严峻问题,这使得后续水力压裂储层裂缝走向不可预测,导致压裂效果较差、产率难以有效提升。一段时间以来,由于作业时间短、用液量少、成本较低,定向射孔逐渐被应用到实际工程,然而现有的定向射孔技术仍可能导致孔眼堵塞、储层与井筒连通面积小、气体流动阻力大的问题。

[0004] 加之,随着埋藏深度的增加,地层内储层分布均匀性降低、构造复杂程度、温度和压力随之增加,使得深层页岩气储层(埋深介于 $3500 - 4500\text{m}$ 的页岩气储层被界定为深层页岩气储层)开采的高地应力、高水平应力差、各向异性的工程特点突出,致使单一静态水力压裂在深层储层形成的裂缝网络十分有限。因为优势压裂倾角(即压裂载荷方向与层理方向夹角)有利于利用层理面沟通更多水力裂缝,可提高单次压裂效果,而动态压裂技术可以促使冲击区域附近不受地应力的控制而诱导多方位径向裂缝,所以人们相继提出用水力脉冲冲与循环水力脉冲压裂等众多动态水力压裂及其组合的技术方法来提高深层页岩气开采的效能,但是,学者们发现利用静态水力压裂与利用动态水力压裂改造各向异性页岩储层,尤其是深层页岩气储层时,两者优势压裂倾角明显不同,无法实现深层页岩气开采的效能提高。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于针对现有技术的不足之处,提供一种压裂难度小、页岩气解析速率更快、可诱导后续水力压裂压裂裂缝向压裂区域定向起裂的定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置及方法。

[0006] 本发明提供的这种定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置,安装于页岩气井内,包括激光热剥落组件、动态水力压裂组件和岩屑收集组件,所述页岩气井包括竖直井筒和与该竖直井筒连通布置的水平井筒,在水平井筒的筒壁上开有定向射孔;所述激光热剥落组件包括依次电性连接的激光控制器、激光发生器和激光头,在水平井筒内架设

有导向管,在导向管上安装有若干水平位置可调的定位箱,在定位箱上安装有与定向射孔相对应布置的伸缩杆,激光头置于伸缩杆末端,激光发生器将激光传至激光头,激光头通过定向射孔对水平井筒外的页岩储层进行热剥落;所述岩屑收集组件包括依次连接的吸屑管、岩屑收集盒和吸尘电机,所述吸屑管插入竖直井筒内,在吸屑管上开有正对水平井筒布置的吸屑口;所述动态水力压裂组件包括依次连接的压裂液罐、增压泵、第一控制阀、水力压裂管和若干定向水力喷嘴,压裂液罐和增压泵均置于页岩气井外,水力压裂管的末端穿过竖直井筒置于水平井筒内,定向水力喷嘴连接于水力压裂管末端并与定向射孔相对应布置,压裂液罐中的压裂液经过增压泵、水力压裂管及定向水力喷嘴送入水平井筒中,通过定向射孔对页岩储层进行静态水力压裂;在页岩气井外设有脉冲发生器,所述脉冲发生器通过第二控制阀与水力压裂管相连接,脉冲发生器驱动水力压裂管的压裂液对页岩储层进行动态水力压裂。

[0007] 在水平井筒下方的竖直井筒内设有第一封隔器,激光器发生器置于第一封隔器上。

[0008] 在水平井筒末端设有第二封隔器,所述导向管固定于第二封隔器中心。

[0009] 在压裂液罐与增压泵之间设有用于添加支撑剂的补料口。

[0010] 所述定位箱间的间距与对应定位射孔间的间距相一致。

[0011] 所述伸缩杆由地表遥控控制进行周角旋转。

[0012] 所述吸屑管的内径为5-10cm。

[0013] 所述脉冲发生器集控制模块于一体,可产生的脉冲加载率范围为 10^{-3} - 10^3 GPa/s。

[0014] 所述吸屑口正对水平井筒布置并完全覆盖水平井筒至竖直井筒底区域。

[0015] 一种定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化方法,包括如下步骤:

[0016] S1、选取页岩储层的完整页岩岩芯,切割成边长为200mm的立方体页岩试样;

[0017] S2、对立方体页岩试样开展激光照射诱导热剥落实验,记录立方体页岩试样剥落表面发生明显熔化时的激光发射功率,用于井下热剥落射孔;

[0018] S3、综合利用地震、测井、油藏数值模拟的资料解释结果,确定储层区域地应力变化,确定定向压裂区域的具体参数,合理设计定向射孔的数量和方位、水力压裂加载率以及对应工作模式;

[0019] S4、在地层中连通布置竖直井筒和水平井筒,且竖直井筒外侧为上覆岩层,水平井筒置于页岩储层内,在水平井筒的筒壁上设置定向射孔;

[0020] S5、地表完成激光头、伸缩杆、定位箱与导向管的安装,完成激光控制器、激光发生器和激光头间的电性连接,将导向管放入水平井筒,同时放入激光发生器,将导向管末端固定于第二封隔器中心处,激光器发生器固定在第一封隔器上;

[0021] S6、地表完成吸屑管、岩屑收集盒和吸尘电机的电性连接,将吸屑管放入竖直井筒,使其吸屑口正对水平井筒布置并完全覆盖水平井筒至竖直井筒底区域;

[0022] S7、地表遥控伸缩杆处于预定空间状态;

[0023] S8、开启激光控制器,控制激光发生器激发预定功率稳定激光束,经光纤传输至激光头,照射目标的页岩储层,并同时开启吸尘电机,通过吸屑管清理热剥落定向射孔产生的岩屑;

[0024] S9、完成热剥落后,提升吸屑管,同时调整激光控制器的工作模式,使激光发生器

以不产生热剥落的发射功率继续激发激光束,经激光头照射已经形成的定向射孔,进一步增加页岩气解析速率并形成孔眼周围的复杂热裂纹;

[0025] S10、吸屑管提升至地表后,关闭激光控制器,提升导向管;

[0026] S11、快速下放安装组装有定向水力喷嘴的水力压裂管,下放完成后,与支撑剂混合后的压裂液经增压泵输送至水力压裂管;

[0027] S12、当水力压裂管内的流体压力达到预定值,关闭增压泵以及第一控制阀;

[0028] S13、开启脉冲发生器和第二控制阀,将脉冲发生器产生的预定加载率的水力脉冲由水力压裂管、定向水力喷嘴沿定向射孔11方向喷射,诱导热裂纹扩展并冲击压裂形成水力裂缝;

[0029] S14、评估压裂效果,可根据实际情况进一步调整后续压裂液罐、支撑剂、增压泵、第一控制阀、第二控制阀与脉冲发生器的工作模式,达到最优压裂效果的压裂组合方案。

[0030] 本发明通过利用激光瞬间加热页岩储层表面以产生距离和方位可控的射孔分布并在射孔周围的储层中形成的复杂热裂纹,能降低深地储层压裂难度、提高页岩气解析速率、诱导后续水力压裂压裂裂缝向压裂区域定向起裂,以使裂缝形成于所要定向压裂区域内,克服了现有定向射孔技术仍可能导致孔眼堵塞、储层与井筒连通面积小、气体流动阻力大的技术难题;同时,基于该射孔方法的动态水力压裂及其组合压裂技术可以实现深层页岩高温高应力开采环境下的复杂多变的水力压裂优势倾角设计,进而创造更多不受地应力控制的水力压裂有效区域。

[0031] 本发明相对简单,技术成熟可靠,解决了深层页岩气定向开采难和有效压裂面积不足的工程难题,降低了破裂压力、形成了复杂的初始裂纹网络,提高了页岩气解析速率,能诱导水力压裂裂缝向目标区域定向起裂,能在水力压裂优势倾角下大大增加有效压裂区域,有利于实现定向压裂复杂深层储层,提高采收率的目的。

附图说明

[0032] 图1为本发明中定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化方法的工艺流程示意图。

[0033] 图中示出的标记及所对应的构件名称为:

[0034] 1、竖直井筒;2、水平井筒;3、定向射孔;4、激光控制器;5、激光发生器;6、激光头;7、导向管;8、定位箱;9、伸缩杆;10、页岩储层;11、吸屑管;12、岩屑收集盒;13、吸尘电机;14、压裂液罐;15、增压泵;16、第一控制阀;17、水力压裂管;18、定向水力喷嘴;19、脉冲发生器;20、第二控制阀;21、第一封隔器;22、第二封隔器;23、补料口;24、水力裂缝;111、吸屑口。

具体实施方式

[0035] 从图1可以看出,本发明这种定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化装置,安装于页岩气井内,包括激光热剥落组件、动态水力压裂组件和岩屑收集组件,其中,

[0036] 页岩气井包括竖直井筒1和水平井筒2,竖直井筒1竖直布置在上覆岩层中,竖直井筒1的顶部与地表相平齐布置、底部低于页岩储层10布置,水平井筒2水平布置在竖直井筒1

一侧的页岩储层10中,水平井筒2前端与竖直井筒1垂直连通布置,在水平井筒2末端的筒壁上开有若干定向射孔3,在水平井筒2下方的竖直井筒1内密封连接有第一封隔器21,在水平井筒2末端密封连接有第二封隔器22;

[0037] 激光热剥落组件包括激光控制器4、激光发生器5、激光头6、导向管7、定位箱8和伸缩杆9,激光控制器4置于竖直井筒1一侧的地表上,激光器发生器5置于竖直井筒1内的第一封隔器21上,激光发生器5的信号接收端通过电缆与激光控制器4电性连接,激光发生器5的激光输出端通过光纤与激光头6的激光输入端电性连接,导向管7穿过竖直井筒1水平布置在水平井筒2内,导向管7末端固定在第二封隔器22中心处,定位箱8水平位置可调的安装在水平井筒2内的导向管7上,伸缩杆9安装在定位箱8上并与定向射孔3相对应布置,激光头6置于伸缩杆9末端,激光发生器5将激光传至激光头6,激光头6通过定向射孔3对水平井筒2外的页岩储层10进行热剥落;

[0038] 岩屑收集组件包括吸屑管11、岩屑收集盒12和吸尘电机13,岩屑收集盒12和吸尘电机13均置于竖直井筒1另一侧的地表上,吸屑管11插入竖直井筒1内,在吸屑管11下端段上开有正对水平井筒2布置的吸屑口111,吸屑管11的出口与岩屑收集盒12的进屑口相连通,岩屑收集盒12的出气口通过管道与吸尘电机13的吸气口相连通;

[0039] 动态水力压裂组件包括压裂液罐14、增压泵15、第一控制阀16、水力压裂管17、若干定向水力喷嘴18、脉冲发生器19和第二控制阀20,压裂液罐14和增压泵15均置于竖直井筒1一侧的地表上,压裂液罐14的出口通过管道与增压泵15的进口相连通,增压泵15的出口通过管道与第一控制阀16的进口相连通,第一控制阀16的出口与水力压裂管17的前端相连通,水力压裂管17的末端穿过竖直井筒1置于水平井筒2内,定向水力喷嘴18一对一的连接于与定向射孔3相对应处的水力压裂管17上且定向水力喷嘴18与定向射孔3方位保值一致,脉冲发生器19置于竖直井筒1另一侧的地表上,脉冲发生器19的出口通过管道与第二控制阀20的进口相连通,第二控制阀20的出口与水力压裂管17的前端相连通,压裂液罐14中的压裂液经过增压泵15、水力压裂管17及定向水力喷嘴18送入水平井筒2中,通过定向射孔3对页岩储层10进行静态水力压裂;脉冲发生器19驱动水力压裂管17的压裂液对页岩储层10进行动态水力压裂。

[0040] 从图1可以看出,在压裂液罐14与增压泵15之间的管道上设有用于添加支撑剂的补料口23。

[0041] 在本发明中,定位箱8间的间距与对应定向射孔3间的间距相一致,伸缩杆9由地表遥控控制进行周角旋转。

[0042] 在本发明中,吸屑管11的内径为5-10cm,吸屑口111为二分之一圆弧切口,正对水平井筒2布置并完全覆盖水平井筒2至竖直井筒1底的区域。

[0043] 在本发明中,脉冲发生器19集控制模块于一体,可产生的脉冲加载率范围为 10^{-3} - 10^3 GPa/s。

[0044] 在本发明中,导向管7集控制于一体。

[0045] 本发明这种定向射孔与水力压裂开采深层页岩气的一体化方法,包括如下步骤:

[0046] S1、选取页岩储层10的完整页岩岩芯,切割成边长为200mm的立方体页岩试样;

[0047] S2、对立方体页岩试样开展激光照射诱导热剥落实验,记录立方体页岩试样剥落表面发生明显熔化时的激光发射功率,用于井下热剥落射孔;

[0048] S3、综合利用地震、测井、油藏数值模拟的资料解释结果,确定储层区域地应力变化,确定定向压裂区域的具体参数,合理设计定向射孔3的数量和方位、水力压裂加载率以及对应工作模式;

[0049] S4、在地层中连通布置垂直井筒1和水平井筒2,且垂直井筒1外侧为上覆岩层,水平井筒2置于页岩储层10内,在水平井筒2的筒壁上设置定向射孔3;

[0050] S5、地表完成激光头6、伸缩杆9、定位箱8与导向管7的安装,完成激光控制器4、激光发生器5和激光头6间的电性连接,将导向管7放入水平井筒2,同时放入激光发生器5,将导向管7末端固定于第二封隔器22中心处,激光器发生器5固定在第一封隔器21上;

[0051] S6、地表完成吸屑管11、岩屑收集盒12和吸尘电机13的电性连接,将吸屑管11放入垂直井筒1,使其吸屑口111正对水平井筒2布置并完全覆盖水平井筒2至垂直井筒1底的区域;

[0052] S7、地表遥控伸缩杆9处于预定空间状态;

[0053] S8、开启激光控制器4,控制激光发生器5激发预定功率稳定激光束,经光纤传输至激光头6,照射目标的页岩储层10,并同时开启吸尘电机13,通过吸屑管11清理热剥落定向射孔3产生的岩屑;

[0054] S9、完成热剥落后,提升吸屑管11,同时调整激光控制器4的工作模式,使激光发生器5以不产生热剥落的发射功率继续激发激光束,经激光头6照射已经形成的定向射孔3,进一步增加页岩气解析速率并形成孔眼周围的复杂热裂纹;

[0055] S10、吸屑管11提升至地表后,关闭激光控制器4,提升导向管7;

[0056] S11、快速下放安装组装有定向水力喷嘴18的水力压裂管17,下放完成后,与支撑剂混合后的压裂液经增压泵15输送至水力压裂管17;

[0057] S12、当水力压裂管17内的流体压力达到预定值,关闭增压泵15以及第一控制阀16;

[0058] S13、开启脉冲发生器19和第二控制阀20,将脉冲发生器19产生的预定加载率的水力脉冲由水力压裂管17、定向水力喷嘴18沿定向射孔3方向喷射,诱导热裂纹扩展并冲击压裂形成水力裂缝24;

[0059] S14、评估压裂效果,可根据实际情况情况进一步调整后续压裂液罐14、支撑剂、增压泵15、第一控制阀16、第二控制阀20与脉冲发生器19的工作模式,达到最优压裂效果的压裂组合方案。

[0060] 在本发明中,激光发生器5的发射功率应保持恒定且满足储层岩石在热剥落的过程中表面温度低于其熔点,依据储层地质岩心地表激光照射热剥落实验获得。

[0061] 在本发明中,定向射孔期间激光照射与岩屑提升同时同步工作,保证钻孔以及水平井内剥落岩屑及时清理。

[0062] 在本发明中,岩屑收集盒12通过在吸屑管11内形成负压环境清理岩屑,岩屑收集盒12将不同工况下收集后岩屑分类整理,形成数据库以反馈并优化后续储层热剥落射孔或钻井的技术方案。

[0063] 在本发明中,水力压裂不局限于单次固定加载率下的动态压裂,可以根据储层压裂效果评价调整工作模式,如先静态压裂后动态压裂、先动态压裂后静态压裂以及循环动静态压裂。

[0064] 岩石热剥落是指岩石在经历瞬间的表面加热由于导热系数较小而严重限制了其膨胀的区域,使得加热表面及其表面下方的薄层在压应力下瞬间剥落并向垂直于岩石表面方向弹射的过程。岩石剥落一层后,形成新鲜面又会发生同样的过程,使得剥落凹陷不断向岩石内部延伸。目前认为岩石剥落产生的岩屑近似圆盘形,最大厚度约为2-3mm。本发明依托岩石热剥落原理,可以解决储层分布不均实现对目标区域定向压裂,依托定向射孔形成有益于水力压裂的优势倾角,利用动态压裂及其组合压裂技术的冲击载荷降低地应力影响下复杂裂纹生成的难度将能极大地提高深层页岩气资源的采收效率。

[0065] 本发明能更好地为我国深层页岩气开采提供技术支持,保障能源安全,具有重大的现实意义。

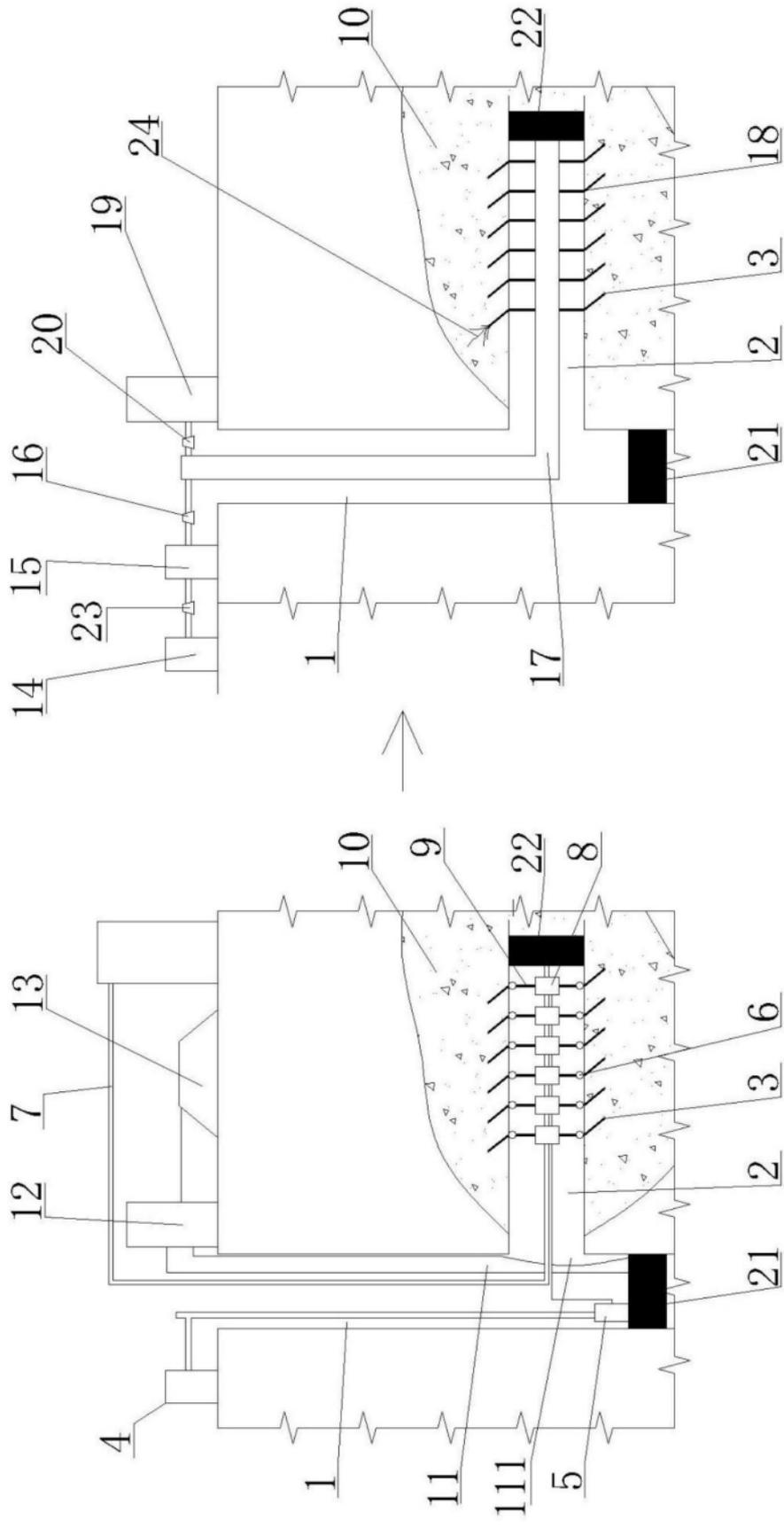


图1