

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 12 月 8 日 (08.12.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/252591 A1

(51) 国际专利分类号:
E21B 43/26 (2006.01) *E21B 43/267* (2006.01)
E21B 43/263 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/141463

(22) 国际申请日: 2021 年 12 月 27 日 (27.12.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202110598931.6 2021年5月31日 (31.05.2021) CN

(71) 申请人: 中国矿业大学(CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国江苏省徐州市大学路1号, Jiangsu 221116 (CN)。

(72) 发明人: 杨威(YANG, Wei); 中国江苏省徐州市大学路1号, Jiangsu 221116 (CN)。 魏则宁(WEI, Zening); 中国江苏省徐州市大学路1号, Jiangsu 221116 (CN)。 翟成(ZHAI, Cheng); 中国江苏省徐州市大学路1号, Jiangsu 221116 (CN)。 张文晓(ZHANG, Wenxiao); 中国江苏省徐州市大学路1号, Jiangsu 221116 (CN)。 梁德郎(LIANG, Delang); 中国江苏省徐州市大学路1号, Jiangsu 221116 (CN)。 薛佳凯(XUE, Jiakai); 中国江苏省徐州市大学路1号, Jiangsu 221116 (CN)。 白海鑫(BAI, Haixin); 中国江苏省徐州市大学路1号, Jiangsu 221116 (CN)。 陈庆贺(CHEN, Qinghe); 中国江苏省徐州市大学路1号, Jiangsu 221116 (CN)。

(54) **Title:** CRACKING PERMEABILITY INCREASING METHOD COMBINING HYDRAULIC FRACTURING AND METHANE IN-SITU COMBUSTION EXPLOSION

(54) 发明名称: 一种水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法

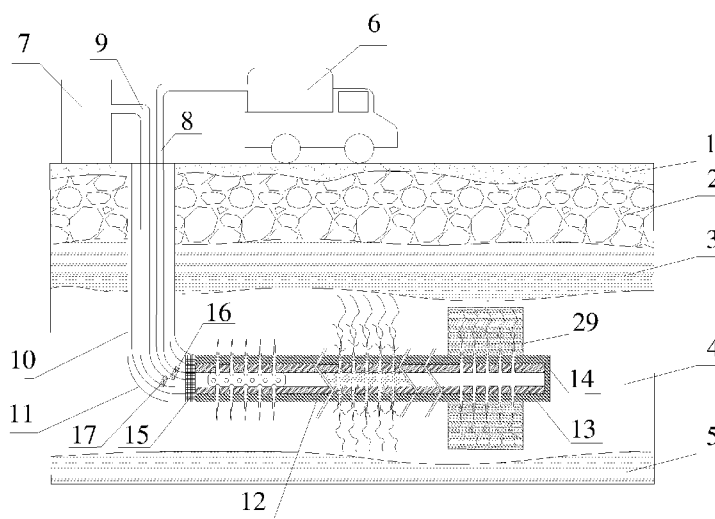


图 1

(57) **Abstract:** The present invention relates to a cracking permeability increasing method combining hydraulic fracturing and methane in-situ combustion explosion, applicable to shale gas reservoir exploitation, comprising: firstly, performing horizontal drilling operation on an area to be constructed, and then making a crack around a horizontal drill hole wall by means of shaped charge perforation; continuing to expand the crack around a horizontal hole by means of hydraulic fracturing, and performing methane extraction after a fracturing fluid is discharged; after methane gas is reduced, performing in-situ combustion explosion fracturing on the methane involved in horizontal drilling; after combustion explosion, continuing to expand the crack in the horizontal drill hole such that methane continues to seep out, and then continuing performing extraction; and repeating combustion explosion fracturing and extraction operations, so as to realize combustion explosion cracking permeability increasing, and greatly enhance the exploitation effect of shale gas. The method has

(74) 代理人: 北京德崇智捷知识产权代理有限公司
(JW IP LAW FIRM); 中国北京市朝阳区酒仙桥路
14号A5楼7层701, Beijing 100015 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家
保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,
CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT,
JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

reasonable design and high construction feasibility, and is suitable for fracturing reconstruction of unconventional oil and gas reservoirs
such as shale gas reservoirs, coal seam gas reservoirs and tight sandstone gas reservoirs.

(57) 摘要: 本发明涉及一种水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法, 适用于页岩气储层开采。先对待
施工区域进行水平钻井施工, 然后利用聚能射孔在水平钻孔孔壁周围进行造缝; 利用水力压裂的方式继
续对水平钻孔周围的缝隙进行扩展, 排出压裂液后进行甲烷抽采; 当甲烷气体减少后对水平钻孔中参与的
甲烷进行原位燃爆压裂; 燃爆后继续扩展水平钻孔中的缝隙从而使甲烷继续渗出, 之后继续进行抽采; 重
复燃爆压裂和抽采作业, 从而实现燃爆协同致裂增透, 大大加强了页岩气的开采效果。该方法设计合理、
施工操作可行性高, 适合页岩气藏、煤层气藏、致密砂岩气藏等非常规油气藏压裂改造。

一种水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法

技术领域

本发明涉及一种致裂增透方法，尤其适用于页岩气储层开采时使用的一种水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法。

背景技术

页岩气是指以吸附、游离或溶解状态赋存在富含有机质的泥页岩及其夹层中的一种非常规天然气，与煤层气藏和致密砂岩气藏并称为三大非常规气藏，其主要成分为甲烷，混有乙烷和丙烷，具有开采周期长、清洁、高效等特点，已成为工业发展过程中煤炭的最佳替代能源之一。我国页岩气资源丰富，可采资源量达到 36.1 万亿 m^3 ，页岩气资源的高效开发，可补充我国未来天然气需求缺口，并将深刻影响我国能源结构，对于保障国家能源安全具有重要意义。页岩储层低孔隙度（ $< 5\%$ ）、低渗透率（ $< 0.001 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ）特征明显，对页岩气的开发利用造成困难。为此，必须对页岩储层进行人工压裂改造，形成连通的裂缝网络，达到增大页岩产气量的目的。

利用水力压裂技术对页岩储层进行压裂改造以获得工业气流是目前开采页岩气的主要方式。其中，水平井分段压裂技术，是当前开发页岩气、致密油等非常规储层的主流技术，是指在垂直井的基础上采用转向技术，将钻杆下入到目标层，通过注入大量高压压裂液将目标层位压开，对储层实施改造。在不断注入高压压裂液的作用下，天然裂缝缝内压力超过闭合压力，天然裂缝开启，岩石产生剪切滑移，实现对天然裂缝和岩石层理的沟通。该技术可以增大储层的改造体积，提高水平井的产能，美国利用水平井分段压裂、同步压裂等技术对页岩储层进行了有效改造，页岩气开发得到迅猛发展；但是我国页岩气藏在地质特点、储层埋深以及压裂技术条件等方面与美国存在明显差异，美国页岩气开采的成功经验无法直接应用到我国。

我国四川、重庆等地的页岩气埋藏深度普遍在 2600m~3000m，深层页岩气藏埋深在 4000m 以上，页岩储层致密，压力系数高，压裂难度大。高能气体压裂主要利用火药（如快速固化液体炸药）或者火箭推进剂（如偏二甲肼）爆炸产生的高压气体压裂岩体，使储层产生微裂隙，具有低成本、低污染的特点，但是也存在着诸如火工品安全性差、裂缝扩展规模小等问题。

发明内容

针对现有技术的不足之处，提供一种水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法，能

够充分发挥水力压裂和聚能燃爆压裂的各自优势，采用聚能射孔技术于致密页岩储层中开出孔道，配合水力压裂技术使孔道延展成主裂隙，同时实现助燃剂的缝内投放，以页岩储层原位解吸出的甲烷气体作为爆炸源，采取脉冲式多级燃爆压裂方式，协同致裂增透页岩储层。

为实现上述目的，本水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法，首先对待施工区域进行水平钻井施工，然后利用聚能射孔在水平钻孔孔壁周围进行造缝；利用水力压裂的方式继续对水平钻孔周围的缝隙进行扩展，排出压裂液后进行甲烷抽采；当甲烷气体减少后对水平钻孔中参与的甲烷进行原位燃爆压裂；燃爆后继续扩展水平钻孔中的缝隙从而使甲烷继续渗出，之后继续进行抽采；重复燃爆压裂和抽采作业，从而实现燃爆协同致裂增透，大大加强了页岩气的开采效果。

具体步骤如下：

S1 确定页岩储层的压裂层段和压裂位置之后从地面向页岩储层中预压裂层段开钻竖井井筒，利用转向器开钻水平气井到达预压裂位置，在水平气井中设置套管形成套管柱，然后向水平气井连接的竖井井筒中设置压裂液泵注管道和甲烷抽采管道，甲烷抽采管道上设置有甲烷气体浓度与流量探测器；

S2 将载有射孔弹的射孔枪通过套管柱下放到页岩储层预压裂位置进行聚能射孔造缝，从而在致密页岩储层上产生大量锥刺状孔道；

S3 回收射孔枪，然后利用压裂液储罐通过压裂液泵注管道向套管内注入掺混有助燃剂的压裂液，压裂液从套管的射孔孔眼对页岩储层进行水力压裂，压裂液沿锥刺状孔道对储层进行压裂，使锥刺状孔道进一步张开扩展成主裂缝，压裂液在射孔孔眼形成的锥刺状孔道尖端进行张性破坏，从而构建出甲烷等流体流向套管的主通道，并在主裂缝周围压裂产生二级水力压裂裂缝，当压裂液泵注压力降低到峰值压力的 30% 时，停止泵注，在水力压裂过程结束后返排压裂液，助燃剂留存于所进入的裂缝中从而起到辅助支撑的作用；

S4 压裂液返排结束后，页岩储层中的甲烷气体解吸量增加，此时关闭电磁阀 I 并开启电磁阀 II，启动甲烷抽采泵通过甲烷抽采管道进行甲烷抽采，利用设置在岩气抽采管道上的甲烷气体浓度与流量探测器对甲烷气体浓度与抽采管道里气体流量进行实时监测；甲烷气体浓度与流量探测器检测到抽采的甲烷气体流量稳定且保持在预设数值之上时，则判断此时为稳定抽采阶段，当前监测到的甲烷气体浓度认为与实时解吸的气体浓度相同；此时套管柱即作为水平气井段处的气体抽采管道；

S5 当甲烷气体浓度与流量探测器实时监测抽采过程中甲烷浓度发生变化，根据抽采钻

孔气体浓度的自然衰减特性，当抽采过程中管道与裂缝整体空间内的甲烷气体浓度降低到起爆浓度后，停止抽采作业，下放引爆装置于水平气井井口处，通过引爆装置对储层裂隙原位解吸的甲烷进行点火诱导燃爆；所述引爆装置包括电火花点火器、传输电缆、地面智能控制器，所述点火诱导爆燃过程为地面智能控制器关闭电磁阀 I 和电磁阀 II，通过传输电缆使电火花点火器接通电流，产生电火花，诱导甲烷爆燃；

S6 燃爆后，水平气井中形成更加复杂的新裂缝网络，促进甲烷气体的解吸与运移，从而再次增加水平气井中的甲烷气体浓度，此时重新开启电磁阀 II 继续进行气体抽采，当甲烷气浓度再次降低后，重复步骤 S5 再次进行甲烷燃爆压裂，如此重复上述步骤，实现水力压裂与甲烷原位多级燃爆协同致裂增透页岩储层，逐级构建起立体裂缝网络，使更多的赋存在储层中的甲烷解吸、汇集到套管柱中，经甲烷抽采管道输送至井上，直至甲烷抽采量增加率低于 10%，结束该层段的压裂抽采作业。

进一步，套管柱外侧与井壁之间设水泥浇筑形成的水泥环以固定套管柱，套管柱与竖井井筒之间通过转向器连接，套管柱与竖井井筒中管道连接处安装有金属密封套，压裂液泵注管道上安装有电磁阀 I、甲烷抽采管道上安装有电磁阀 II，电磁阀 I 和电磁阀 II 通过连接线连接有设置在地面的智能控制器。

进一步，聚能射孔造缝是指将载有射孔弹的射孔枪通过套管柱下放到页岩储层预压裂位置，射孔枪采用电引爆方式，将射孔弹弹槽内的射孔弹从射孔孔眼射出，产生的高温、高压冲击波从而穿透套管柱在页岩储层中产生锥刺状孔道，从而实现对致密页岩储层的前期造缝；

进一步，起出射孔枪后，利用地面智能控制器开启电磁阀 I 并关闭电磁阀 II，对页岩储层进行水力压裂作业：压裂液从压裂液储罐沿压裂液泵注管道进入套管对页岩储层进行压裂，使锥刺状孔道进一步张开扩展成主裂缝，并在主裂缝周围压裂产生二级水力压裂裂缝。

进一步，助燃剂为固体颗粒，包括高锰酸钾球、铝粉、镁粉，掺入压裂液中，使助燃剂随水力压裂过程一同注入所产生的裂缝中；为保证助燃剂颗粒进入压裂缝中，辅以注入顶替液，压裂液返排后，助燃剂留存在所产生的裂缝中予以支撑。

进一步，所述起爆浓度是指甲烷气体浓度与流量探测器测得浓度在 8%-11% 范围内。

进一步，步骤 S6 中记载的需要再次进行甲烷燃爆压裂时，可再次进行水力压裂过程并同步加入助燃剂。

有益效果：

1、充分发挥水力压裂裂缝延展范围远和甲烷原位多级燃爆诱发复杂裂隙的优点，将两种技术结合，实现对页岩储层的协同致裂增透，有效提高压裂缝密度，更好地扩大储层改造体积（SRV）；

2、创新助燃剂的投放方式，向压裂液中掺入助燃剂，在水力压裂的过程即实现了助燃剂投放，使裂缝压裂和助燃剂投放同步进行；

3、基于传统水力压裂携砂入缝的工艺特点，采用固体颗粒助燃剂来代替支撑剂，既避免水力压裂形成的光滑裂隙受应力等影响而重新闭合，保障储层的导流能力，又可在后序工艺中辅助甲烷燃爆，实现裂缝处甲烷原位燃爆压裂储层；

4、采用聚能射孔方式进行前期造缝，显著降低了后续水力压裂起裂压强，降低施工难度；采用甲烷原位燃爆方式冲击压裂页岩储层，利于产生侧向衍生裂隙、构建立体裂缝网络，同时弥补了传统水力压裂难以有效实现深层致密页岩气藏增产的短板，提高了改造效果。

附图说明

图1为本发明的实施例的页岩储层水力压裂与甲烷原位协同致裂增透的示意图；

图2为本发明的实施例的聚能射孔造缝示意图；

图3为本发明的实施例的页岩储层水力压裂过程及裂缝发育示意图；

图4为本发明的实施例的页岩储层水力压裂后甲烷抽采示意图；

图5为本发明的实施例的页岩储层原位燃爆后甲烷抽采与裂缝网络示意图。

图中：1-地面、2-覆盖层、3-页岩顶板、4-页岩储层、5-页岩底板、6-压裂液储罐、7-甲烷抽采泵、8-压裂液泵注管道、9-甲烷抽采管道、10-竖井井筒、11-转向器、12-水平气井、13-套管柱、14-水泥环、15-金属密封套、16-电磁阀Ⅰ、17-电磁阀Ⅱ、18-套管、19-射孔孔眼、20-射孔弹弹槽、21-锥刺状孔道、22-主裂缝、23-二级水力压裂裂缝、24-地面智能控制器、25-连接线、26-甲烷气体浓度与流量探测器、27-电火花点火器、28-传输电缆、29-立体裂缝网络、30-射孔枪。

具体实施方式

下面结合附图对本发明的实施例做进一步说明：

如图1所示，本发明的一种水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法，包括以下步骤：

（一）钻井准备工作。

通过前期地质勘探，探明页岩顶板3和页岩底板5位置，确定页岩储层4的压裂层段

和压裂位置，于地面 1 向页岩储层 4 中预压裂层段开钻竖井井筒 10，井筒穿过覆盖层 2、页岩顶板 3 进入页岩储层 4，并利用转向器 11 开钻水平气井 12 到达预压裂位置。之后下放套管到水平井段，套管两两密封连接成套管柱 13，用于支撑页岩气井，特别是在甲烷爆燃后支撑着孔壁，同时起到构筑压裂液、甲烷气体的输送与抽采通道的作用。套管柱 13 与井壁之间用水泥浇筑形成水泥环 14 以固定套管柱 13；套管柱 13 与竖井井筒 10 相连通，具体地，竖井井筒 10 中布置有压裂液泵注管道 8、甲烷抽采管道 9，套管柱 13 与竖井井筒 10 中管道连接处安装有金属密封套 15，压裂液泵注管道 8 上安装有电磁阀 I 16、甲烷抽采管道 9 上安装有电磁阀 II 17，电磁阀通过连接线 25 与地面智能控制器 24 连接；

（二）聚能射孔造缝。

套管 18 管身上开有射孔孔眼 19，射孔孔眼 19 沿套管 18 的环向和轴向交错布置，射孔枪 19 中的射孔弹弹槽 20 对准，形成定向聚能射流。聚能射孔造缝是指将载有射孔弹的射孔枪 19 通过套管柱 13 下放到页岩储层 4 预压裂位置，射孔枪 19 采用电引爆方式，打开引爆开关后，插针将电流传递到雷管上，雷管引爆将射孔弹弹槽 20 内的射孔弹射出，产生的高温、高压冲击波穿透套管柱 13 在页岩储层 4 中产生锥刺状孔道 21，从而实现对致密页岩储层 4 的前期造缝。引爆后套管 18 内会聚集大量的能量，并从没有约束的射孔孔眼 19 出集中释放，这种高能高速的冲击波对周围页岩产生巨大的冲击，并产生数十公分长的锥刺状孔道 21。射孔弹弹槽 20 沿射孔枪 19 枪身交错布置，在空间内形成三维立体孔道体系，如图 2 所示；

（三）水力压裂作业。

聚能射孔造缝结束后，起出射孔枪 19，地面智能控制器 24 开启电磁阀 I 16 并关闭电磁阀 II 17，对页岩储层 4 进行水力压裂作业，压裂液沿所述孔道对储层进行压裂，使原有孔道进一步张开扩展成主裂缝 22，压裂液在聚能射孔形成的孔道尖端进行张性破坏，形成百米级水力裂缝，构建出甲烷等流体流向套管的主通道，并在主裂缝周围压裂产生二级水力压裂裂缝 23。助燃剂为固体颗粒，掺入压裂液中，使其随水力压裂过程一同注入所产生的裂缝中。当水力压裂裂缝延伸到预定长度、注入的助燃剂颗粒达到预定数量时，停止水力压裂作业，助燃剂留存在所产生的裂缝中予以支撑，如图 3 所示。

为更好地实现裂缝压裂及助燃剂的入缝投放，在水力压裂过程中采取低高粘度压裂液分阶段注入方式，即在压裂初期，采用粘度为 $40 \pm 10 \text{mPa} \cdot \text{s}$ 的压裂液携带 100 目的助燃剂颗粒，目的在于低粘度压裂液可以降低裂缝面的摩擦阻力，细小颗粒对套管附近的天然裂隙有一定的封堵作用，以促进主裂缝的向外延伸，同时细颗粒更易进入压裂过程中产生的

二级微小裂缝；压裂后期，采用粘度为 $80 \pm 10 \text{mPa}\cdot\text{s}$ 的压裂液携带 30 目的助燃剂颗粒，目的在于支撑主裂缝并增加其缝宽、保障其向深部延伸，此次压裂液粘度越高，携砂能力越强，可携带粒径更大的助燃剂，提高主裂隙导流能力以及保障甲烷燃爆效果；更优地，可注入顶替液使助燃剂更好地进入到裂缝中。更优地，助燃剂颗粒可以选择高锰酸钾、高氯酸钾、镁粉、铝粉等。

（四）甲烷抽采。

水力压裂作业后，页岩储层 4 中的甲烷气体解吸量增加，所述甲烷抽采管道 9 上安设有甲烷气体浓度与流量探测器 26，用于对裂缝区域解吸的甲烷气体浓度进行实时监测。当气体浓度达到抽采标准时，地面智能控制器 24 开启电磁阀 II 17 并关闭电磁阀 I 16，进行甲烷抽采。套管柱 13 即作为气体抽采管道，用于收集、输送页岩气，如图 4 所示；

（五）甲烷原位燃爆压裂。

通过甲烷气体浓度与流量探测器 26 实时监测储层裂缝内甲烷浓度，根据抽采钻孔气体浓度的自然衰减特性，当抽采过程中管道与裂缝整体空间内的甲烷气体浓度达到起爆浓度后，通过引爆装置对储层裂隙原位解吸的甲烷进行点火诱导爆燃。所述引爆装置，包括电火花点火器 27、传输电缆 28、地面智能控制器 24，所述起爆浓度是指甲烷气体浓度与流量探测器测得浓度在 8%-11% 范围内，所述点火诱导爆燃过程为地面智能控制器 24 关闭电磁阀 I 16 和电磁阀 II 17，通过传输电缆 28 使电火花点火器 27 接通电流，产生电火花，诱导甲烷爆燃；更优地，甲烷最佳爆点为 9.5% 左右，此时化学反应最为完全，产生的温度与压力也最大，如图 5 所示；

（六）燃爆后继续抽采。

页岩储层 4 经燃爆增透后，形成更为复杂的裂隙，甲烷抽采浓度和流量提高，继续按照步骤（四）进行抽采作业。

（七）多级脉冲聚能燃爆压裂。

当甲烷浓度再次降低后，进行甲烷燃爆压裂，必要时可进行水力压裂过程并同步加入助燃剂，如此重复上述步骤，实现水力压裂与甲烷原位多级燃爆协同致裂增透页岩储层，逐级构建起立体裂缝网络 29，使更多的赋存在储层中的甲烷解吸、汇集到套管柱 13 中，经甲烷抽采管道 8 输送至井上，直至完成所有层段的压裂抽采作业。

针对页岩储层等非常规油气藏的压裂改造问题，本发明提出了一种水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法，在相对成熟的聚能射孔技术和水力压裂技术的基础上，利用原位解吸的甲烷进行燃爆对储层进行二次改造，综合提升储层泄流面积与裂缝网络范围。甲

烷原位燃爆对页岩储层的作用，归纳起来主要包括：一是高温高压爆炸的机械作用，用于破碎致密储层、产生大量微裂缝；二是应力波作用，使岩石发生变形破坏；三是置换作用，甲烷燃爆产物中， CO_2 分子的吸附能力大于甲烷分子，吸附能力更强的 CO_2 会置换出储层中的吸附态甲烷；四是化学作用，爆炸产生的酸性气体（如 CO_2 、 SO_2 等）溶于水后形成酸性溶液酸蚀页岩储层；五是热效应，爆燃产生的井下高温环境能够显著降低甲烷吸附势，促进甲烷解吸和流动。综上所述，采用水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法，能够有效提升页岩储层改造和甲烷抽采效率。

权 利 要 求 书

1. 一种水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法，其特征在于：首先对待施工区域进行水平钻井施工，然后利用聚能射孔在水平钻孔孔壁周围进行造缝；利用低高粘度压裂液分阶段注入方式继续对水平钻孔周围的缝隙进行扩展，排出压裂液后进行甲烷抽采；当甲烷气体减少后对水平钻孔中参与的甲烷进行原位燃爆压裂，即当抽采过程中管道与裂缝整体空间内的甲烷浓度降低到起爆浓度后，停止抽采作业，通过引爆装置对储层裂隙原位解吸的甲烷进行点火诱导燃爆，所述引爆装置包括电火花点火器（27），燃爆后继续扩展水平钻孔中的缝隙从而使甲烷继续渗出，之后继续进行抽采；重复燃爆压裂和抽采作业，从而实现燃爆协同致裂增透，大大加强了页岩气的开采效果。

2. 根据权利要求 1 所述的水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法，其特征在于，具体步骤如下：

S1 确定页岩储层（4）的压裂层段和压裂位置之后从地面（1）向页岩储层（4）中预压裂层段开钻竖井井筒（10），利用转向器（11）开钻水平气井（12）到达预压裂位置，在水平气井（12）中设置套管（18）形成套管柱（13），然后向水平气井（12）连接的竖井井筒（10）中设置压裂液泵注管道（8）和甲烷抽采管道（9），甲烷抽采管道（9）上设置有甲烷浓度与流量探测器（26）；

S2 将载有射孔弹的射孔枪（30）通过套管柱（13）下放到页岩储层（4）预压裂位置进行聚能射孔造缝，从而在致密页岩储层（4）上产生大量锥刺状孔道（21）；

S3 回收射孔枪（30），然后利用压裂液储罐（6）通过压裂液泵注管道（8）向套管（18）内注入掺混有助燃剂的压裂液，压裂液从套管（18）的射孔孔眼（19）对页岩储层（4）进行水力压裂，压裂液沿锥刺状孔道（21）对储层进行压裂，使锥刺状孔道（21）进一步张开扩展成主裂缝，压裂液在射孔孔眼（19）形成的锥刺状孔道（21）尖端进行张性破坏，从而构建出甲烷等流体流向套管的主通道，并在主裂缝周围压裂产生二级水力压裂裂缝（23），当压裂液泵注压力降低到峰值压力的 30% 时，停止泵注，在水力压裂过程结束后返排压裂液，助燃剂留存于所进入的裂缝中从而起到辅助支撑的作用；

S4 压裂液返排结束后，页岩储层（4）中的甲烷气体解吸量增加，此时关闭电磁阀 I（16）并开启电磁阀 II（17），启动甲烷抽采泵（7）通过甲烷抽采管道（9）进行甲烷抽采，利用设置在甲烷抽采管道（9）上的甲烷气体浓度与流量探测器（26）对甲烷气体浓度与抽采管道里气体流量进行实时监测；甲烷气体浓度与流量探测器（26）检测到抽采的甲烷气体流量稳定且保持在预设数值之上时，则判断此时为稳定抽采阶段，当前监测到的

甲烷气体浓度认为与实时解吸的气体浓度相同；此时套管柱（13）即作为水平气井段处的气体抽采管道；

S5 甲烷气体浓度与流量探测器（26）实时监测抽采过程中甲烷浓度发生变化，根据抽采钻孔气体浓度的自然衰减特性，当抽采过程中管道与裂缝整体空间内的甲烷浓度降低到起爆浓度后，停止抽采作业，下放引爆装置于水平气井（12）井口处，通过引爆装置对储层裂隙原位解吸的甲烷进行点火诱导燃爆；所述引爆装置包括电火花点火器（27）、传输电缆（28）、地面智能控制器（24），所述点火诱导爆燃过程为地面智能控制器（24）关闭电磁阀 I（16）和电磁阀 II（17），通过传输电缆（28）使电火花点火器（27）接通电流，产生电火花，诱导甲烷爆燃；

S6 燃爆后，水平气井（12）中形成更加复杂的新裂缝网络，促进甲烷气体的解吸与运移，从而再次增加水平气井（12）中的甲烷气体浓度，此时重新开启电磁阀 II（17）继续进行气体抽采，当甲烷浓度再次降低后，重复步骤 S5 再次进行甲烷燃爆压裂，如此重复上述步骤，实现水力压裂与甲烷原位多级燃爆协同致裂增透页岩储层，逐级构建起立体裂缝网络，使更多的赋存在储层中的甲烷解吸、汇集到套管柱（13）中，经甲烷抽采管道（9）输送至井上，直至甲烷抽采量增加率低于 10%，结束该层段的压裂抽采作业。

3. 根据权利要求 2 所述的水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法，其特征在于：聚能射孔造缝通过将载有射孔弹的射孔枪（30）通过套管柱（13）下放到页岩储层（4）预压裂位置，射孔枪（30）采用电引爆方式，将射孔弹弹槽（20）内的射孔弹从射孔孔眼（19）射出，产生的高温、高压冲击波从而穿透套管柱（13）在页岩储层（4）中产生锥刺状孔道（21），从而实现对致密页岩储层（4）的前期造缝。

4. 根据权利要求 2 所述的水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法，其特征在于：压裂液泵注管道（8）上安装有电磁阀 I（16）、甲烷抽采管道（9）上安装有电磁阀 II（17），电磁阀 I（16）和电磁阀 II（17）通过连接线（25）连接有设置在地面的智能控制器（24）。

5. 根据权利要求 2 所述的水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法，其特征在于：起出射孔枪（30）后，利用地面智能控制器（24）开启电磁阀 I（16）并关闭电磁阀 II（17），对页岩储层（4）进行水力压裂作业：压裂液从压裂液储罐（6）沿压裂液泵注管道（8）进入套管（18）对页岩储层（4）进行压裂，使锥刺状孔道（21）进一步张开扩展成主裂缝（22），并在主裂缝周围压裂产生二级水力压裂裂缝（23）。

6. 根据权利要求 2 所述的水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法，其特征在于：套管柱（13）外侧与井壁之间设水泥浇筑形成的水泥环（14）以固定套管柱（13）。

7. 根据权利要求 2 所述的水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法，其特征在于：套管柱（13）与竖井井筒（10）之间通过转向器（11）连接，套管柱（13）与竖井井筒（10）中管道连接处安装有金属密封套（15）。

8. 根据权利要求 2 所述的水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法，其特征在于：助燃剂为固体颗粒，包括高锰酸钾球、铝粉、镁粉，掺入压裂液中，使助燃剂随水力压裂过程一同注入所产生的裂缝中；为保证助燃剂颗粒进入压裂缝中，辅以注入顶替液，压裂液返排后，助燃剂留存在所产生的裂缝中予以支撑。

9. 根据权利要求 2 所述的水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法，其特征在于：所述起爆浓度是指甲烷气体浓度与流量探测器（26）测得浓度在 8%-11% 范围内。

10. 根据权利要求 2 所述的水力压裂与甲烷原位燃爆协同致裂增透方法，其特征在于：步骤 S6 中记载的需要再次进行甲烷燃爆压裂时，可再次进行水力压裂过程并同步加入助燃剂。

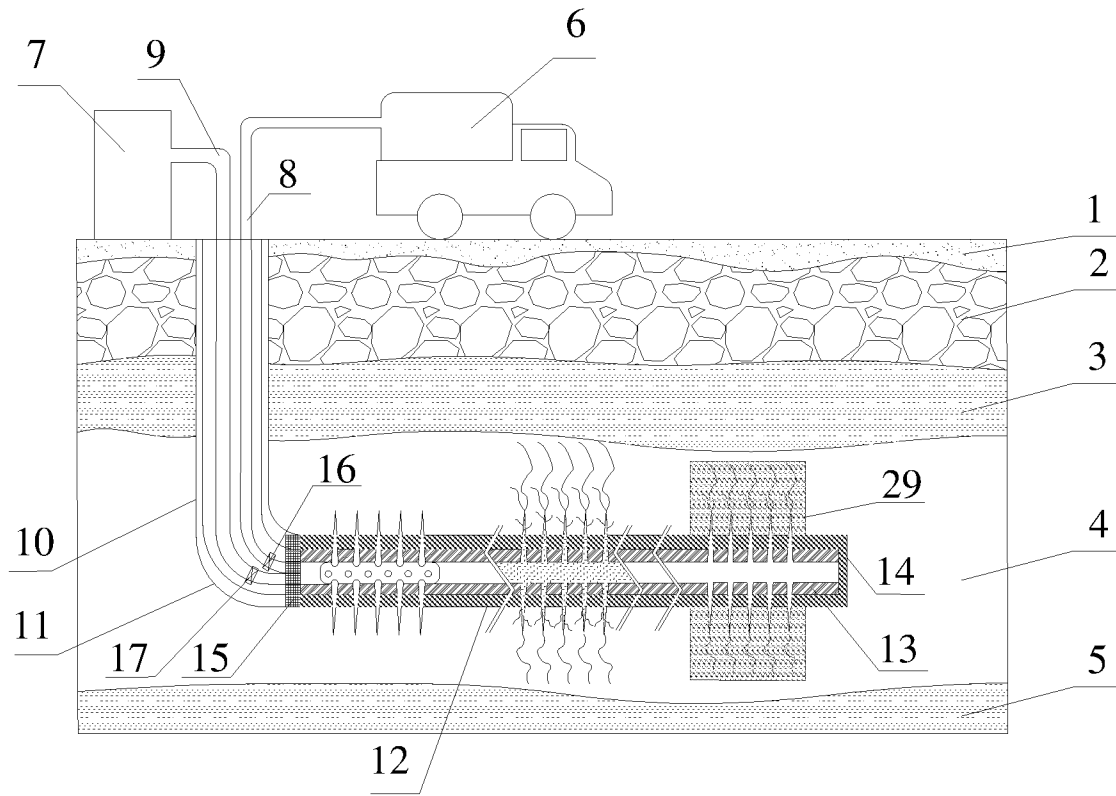


图 1

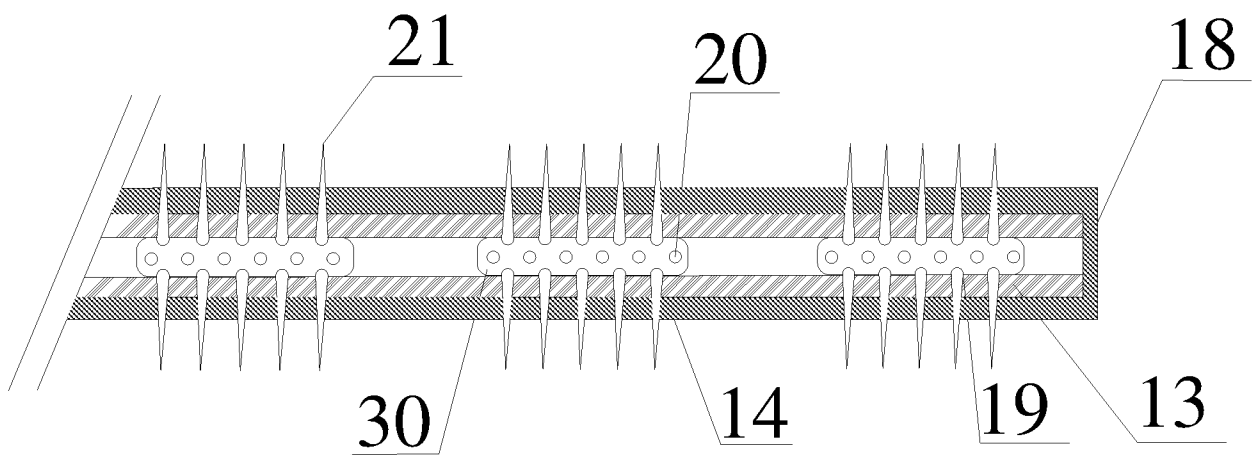


图 2

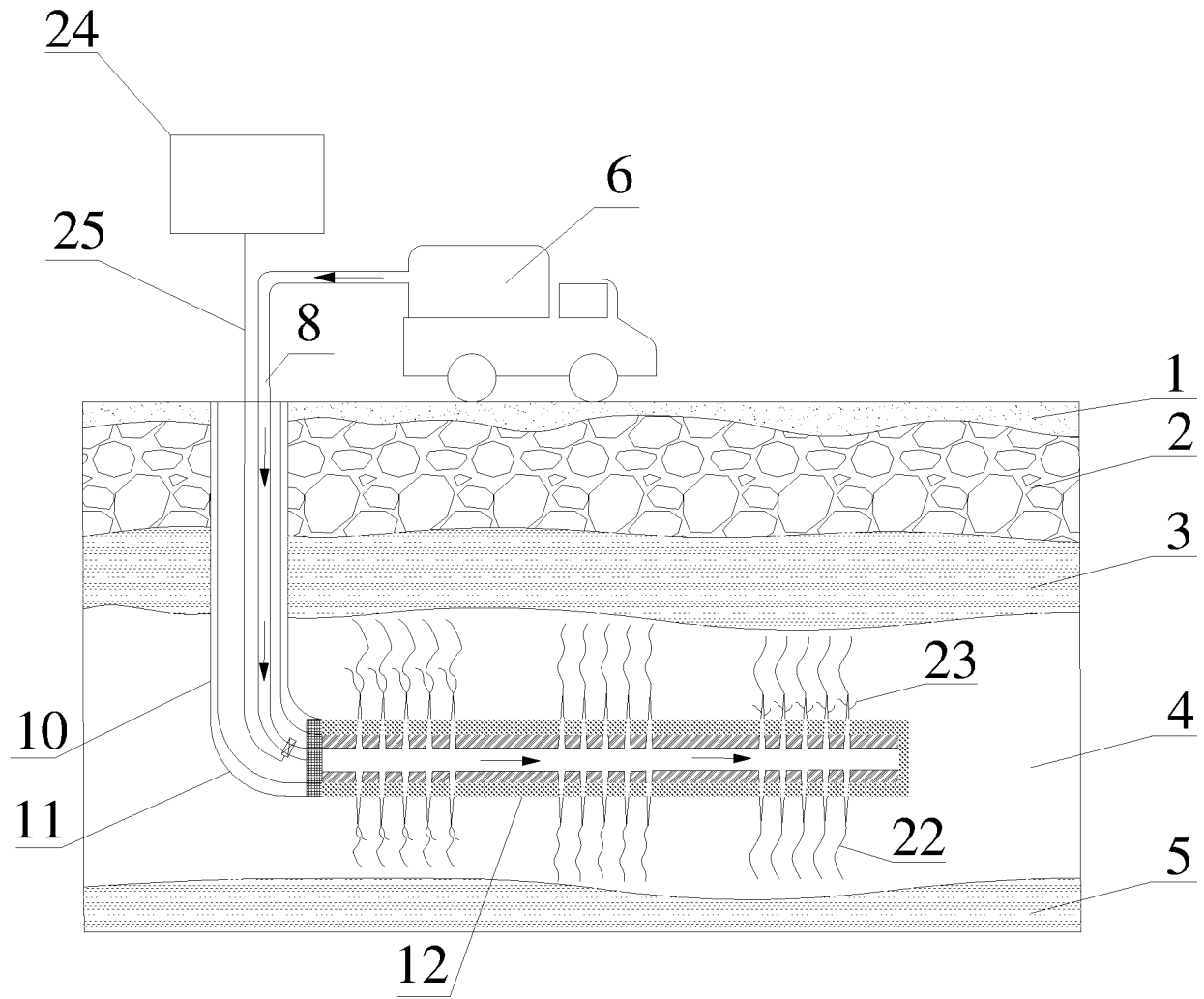


图 3

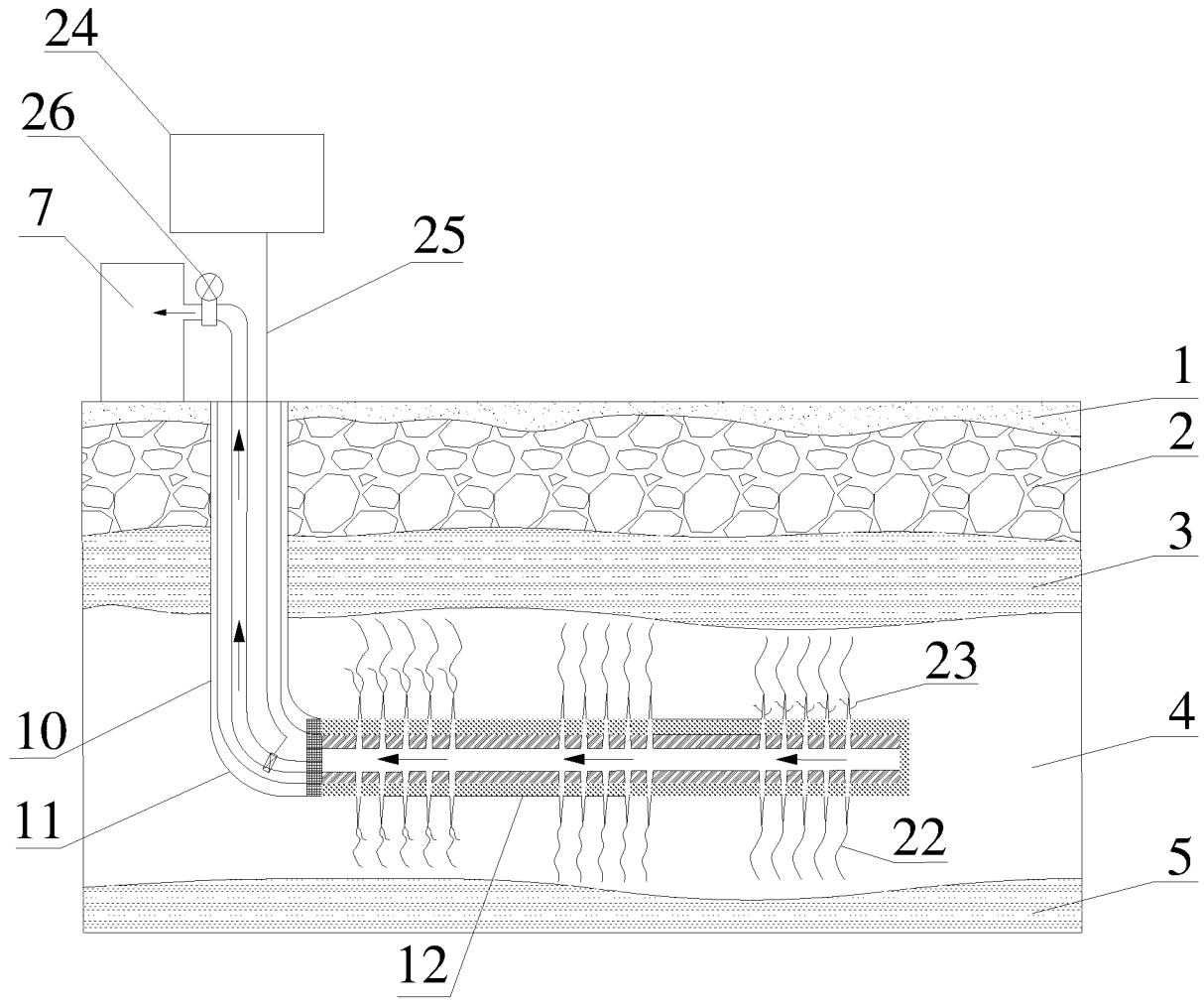


图 4

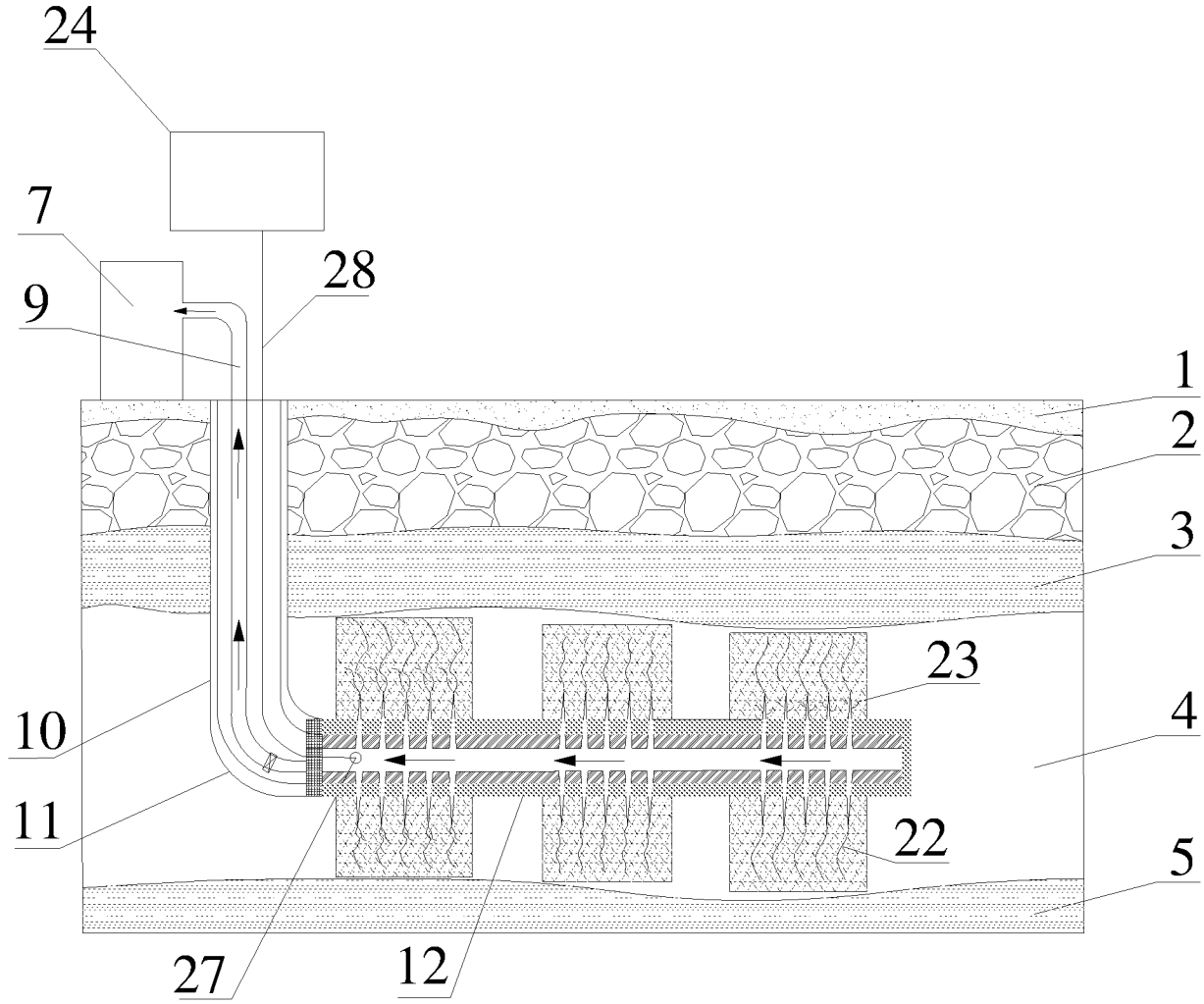


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/141463

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

E21B 43/26(2006.01)i; E21B 43/263(2006.01)i; E21B 43/267(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

E21B; E21F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI; EPODOC; CNPAT; CNKI: 中国矿业大学, 页岩, 甲烷, 压裂, 水, 原位, 燃烧, 爆燃, 协同, 增透, 聚能, 射孔, 水平井, 电点火, 压裂液, 助燃剂, 起爆, 浓度, shale, methane, in-situ, fracture+, combust+, direct+, horizontal, perforat+, burn+, blast+, electric+, ignite+, sensor?, oxygen, accelerat+, improver

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 113294134 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 24 August 2021 (2021-08-24) description, paragraphs 0032-0048, and figures 1-5	1-10
Y	CN 101558216 A (EXXONMOBIL UPSTREAM RESEARCH COMPANY) 14 October 2009 (2009-10-14) claims 1-25, and description, paragraphs 0013 and 0073-0251, and figures 1-19	1
Y	CN 112761588 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 07 May 2021 (2021-05-07) claims 1-5, and description, paragraphs 0017 and 0023-0030, and figures 1-3	1
A	CN 110454131 A (CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM (EAST CHINA)) 15 November 2019 (2019-11-15) entire document	1-10
A	CN 105626028 A (SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY) 01 June 2016 (2016-06-01) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

07 March 2022

Date of mailing of the international search report

31 March 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/141463

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 109025937 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 18 December 2018 (2018-12-18) entire document	1-10
A	CN 101563524 A (EXXONMOBIL UPSTREAM RESEARCH COMPANY) 21 October 2009 (2009-10-21) entire document	1-10
A	US 2019112909 A1 (SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY et al.) 18 April 2019 (2019-04-18) entire document	1-10
A	US 4045085 A (OCCIDENTAL OIL SHALE, INC.) 30 August 1977 (1977-08-30) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/141463

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	113294134	A	24 August 2021	None			
CN	101558216	A	14 October 2009	BR	PI0719247	A2	16 June 2015
				WO	2008048455	A2	24 April 2008
				WO	2008048455	A3	03 July 2008
				AU	2007313395	A1	24 April 2008
				AU	2007313395	B2	07 November 2013
				US	2010319909	A1	23 December 2010
				CN	101558216	B	07 August 2013
				US	2008087428	A1	17 April 2008
				US	7669657	B2	02 March 2010
				CA	2663823	A1	24 April 2008
				CA	2663823	C	30 September 2014
CN	112761588	A	07 May 2021	None			
CN	110454131	A	15 November 2019	CN	110454131	B	18 June 2021
CN	105626028	A	01 June 2016	CN	105626028	B	07 September 2018
CN	109025937	A	18 December 2018	WO	2019242191	A1	26 December 2019
				RU	2735711	C1	06 November 2020
				AU	2018428500	A1	30 July 2020
				AU	2018428500	B2	22 July 2021
				US	2021148205	A1	20 May 2021
				US	11131172	B2	28 September 2021
CN	101563524	A	21 October 2009	US	2008087427	A1	17 April 2008
				US	8151884	B2	10 April 2012
				CN	101563524	B	27 February 2013
				WO	2008048454	A2	24 April 2008
				WO	2008048454	A3	10 July 2008
				BR	PI0719246	A2	08 September 2015
				AU	2007313394	A1	24 April 2008
				AU	2007313394	B2	29 January 2015
				CA	2664321	A1	24 April 2008
				CA	2664321	C	18 March 2014
US	2019112909	A1	18 April 2019	US	10711585	B2	14 July 2020
				CA	3020545	A1	13 April 2019
US	4045085	A	30 August 1977	CA	1055840	A	05 June 1979

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/141463

A. 主题的分类

E21B 43/26 (2006.01) i; E21B 43/263 (2006.01) i; E21B 43/267 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

E21B; E21F

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

WPI; EPDOC; CNPAT; CNKI; 中国矿业大学, 页岩, 甲烷, 压裂, 水, 原位, 燃烧, 爆燃, 协同, 增透, 聚能, 射孔, 水平井, 电点火, 压裂液, 助燃剂, 起爆, 浓度, shale, methane, in-situ, fracture+, combust+, direct+, horizontal, perforat+, burn+, blast+, electric+, ignite+, sensor?, oxygen, accelerat+, improver

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 113294134 A (中国矿业大学) 2021年8月24日 (2021 - 08 - 24) 说明书第0032-0048段, 图1-5	1-10
Y	CN 101558216 A (埃克森美孚上游研究公司) 2009年10月14日 (2009 - 10 - 14) 权利要求1-25、说明书第0013、0073-0251段, 图1-19	1
Y	CN 112761588 A (中国矿业大学) 2021年5月7日 (2021 - 05 - 07) 权利要求1-5、说明书第0017、0023-0030段, 图1-3	1
A	CN 110454131 A (中国石油大学华东) 2019年11月15日 (2019 - 11 - 15) 全文	1-10
A	CN 105626028 A (西南石油大学) 2016年6月1日 (2016 - 06 - 01) 全文	1-10
A	CN 109025937 A (中国矿业大学) 2018年12月18日 (2018 - 12 - 18) 全文	1-10
A	CN 101563524 A (埃克森美孚上游研究公司) 2009年10月21日 (2009 - 10 - 21) 全文	1-10

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2022年3月7日

国际检索报告邮寄日期

2022年3月31日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

马琳

电话号码 86-10-53961015

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	US 2019112909 A1 (UNIV. SOUTHWEST PETROLEUM等) 2019年4月18日 (2019 - 04 - 18) 全文	1-10
A	US 4045085 A (OCCIDENTAL OIL SHALE INC.) 1977年8月30日 (1977 - 08 - 30) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/141463

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	113294134	A	2021年8月24日	无			
CN	101558216	A	2009年10月14日	BR	PI0719247	A2	2015年6月16日
				WO	2008048455	A2	2008年4月24日
				WO	2008048455	A3	2008年7月3日
				AU	2007313395	A1	2008年4月24日
				AU	2007313395	B2	2013年11月7日
				US	2010319909	A1	2010年12月23日
				CN	101558216	B	2013年8月7日
				US	2008087428	A1	2008年4月17日
				US	7669657	B2	2010年3月2日
				CA	2663823	A1	2008年4月24日
				CA	2663823	C	2014年9月30日
CN	112761588	A	2021年5月7日	无			
CN	110454131	A	2019年11月15日	CN	110454131	B	2021年6月18日
CN	105626028	A	2016年6月1日	CN	105626028	B	2018年9月7日
CN	109025937	A	2018年12月18日	WO	2019242191	A1	2019年12月26日
				RU	2735711	C1	2020年11月6日
				AU	2018428500	A1	2020年7月30日
				AU	2018428500	B2	2021年7月22日
				US	2021148205	A1	2021年5月20日
				US	11131172	B2	2021年9月28日
CN	101563524	A	2009年10月21日	US	2008087427	A1	2008年4月17日
				US	8151884	B2	2012年4月10日
				CN	101563524	B	2013年2月27日
				WO	2008048454	A2	2008年4月24日
				WO	2008048454	A3	2008年7月10日
				BR	PI0719246	A2	2015年9月8日
				AU	2007313394	A1	2008年4月24日
				AU	2007313394	B2	2015年1月29日
				CA	2664321	A1	2008年4月24日
				CA	2664321	C	2014年3月18日
US	2019112909	A1	2019年4月18日	US	10711585	B2	2020年7月14日
				CA	3020545	A1	2019年4月13日
US	4045085	A	1977年8月30日	CA	1055840	A	1979年6月5日