



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107100605 A

(43)申请公布日 2017.08.29

(21)申请号 201710263932.9

(22)申请日 2017.04.21

(71)申请人 中国石油大学(北京)

地址 102249 北京市昌平区府学路18号

(72)发明人 宋先知 石宇 李根生 黄中伟
田守增 李敬彬 王海柱 史怀忠
盛茂 张逸群

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 姚亮 沈金辉

(51)Int.Cl.

E21B 43/25(2006.01)

E21B 43/26(2006.01)

E21B 43/16(2006.01)

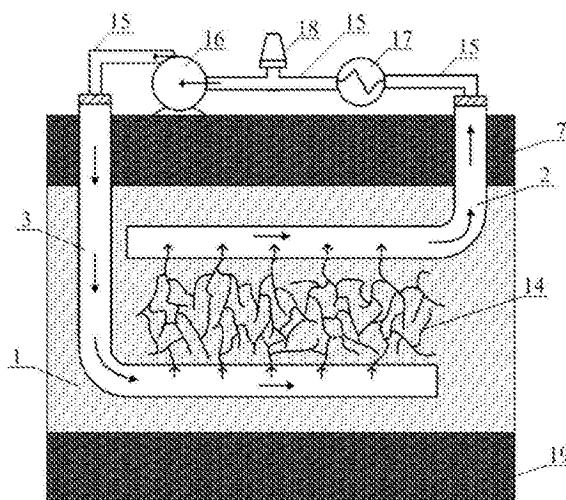
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法

(57)摘要

本发明提供了一种双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法。该方法：确定干热岩储层的顶部和底部的埋藏深度；确定生产井和注入井的井点；在生产井井点，钻取生产井垂直井眼，垂直井眼至干热岩储层的顶部以下10m-15m，造斜并钻取生产井水平井眼，完钻后下入套管并注水泥浆固井；在注入井井点，钻取注入井垂直井眼，垂直井眼至干热岩储层的深度为100m-150m处，造斜并钻取注入井水平井眼，完钻后下入套管并注水泥浆固井；对生产井水平井眼与注入井水平井眼进行射孔，进行分段压裂；将超临界二氧化碳注入注入井内，保证超临界二氧化碳充足，维持循环排量，完成双水平井循环超临界二氧化碳对干热岩的开发。



1. 一种双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法,其特征在于,该双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法包括以下步骤:

确定干热岩储层的顶部和底部的埋藏深度;

确定生产井和注入井的井点;

在生产井井点,钻取生产井垂直井眼,垂直井眼至干热岩储层的顶部以下10m-15m,造斜并钻取生产井水平井眼,完钻后下入套管并注水泥浆固井;

在注入井井点,钻取注入井垂直井眼,垂直井眼至干热岩储层的深度为100m-150m处,造斜并钻取注入井水平井眼,完钻后下入套管并注水泥浆固井;

对生产井水平井眼与注入井水平井眼进行射孔,进行分段压裂;

将超临界二氧化碳注入注入井内,保证超临界二氧化碳充足,维持循环排量,当生产井产出的超临界二氧化碳的温度低于干热岩储层的温度时,取热结束,完成双水平井循环超临界二氧化碳对干热岩的开发。

2. 根据权利要求1所述的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法,其特征在于,确定生产井和注入井的井点时,使生产井的井点和注入井的井点的水平距离为1000m-1500m。

3. 根据权利要求1所述的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法,其特征在于,所述生产井垂直井眼采用保温型水泥浆固井;优选地,所述保温型水泥浆导热系数小于 $0.5\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 。

4. 根据权利要求1所述的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法,其特征在于,所述生产井水平井眼采用高导热型水泥浆固井;优选地,所述高导热型水泥浆导热系数大于 $30\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 。

5. 根据权利要求1所述的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法,其特征在于,注入井垂直井眼采用高导热型水泥浆固井;更优选地,所述高导热型水泥浆的导热系数大于 $30\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 。

6. 根据权利要求1所述的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法,其特征在于,所述注入井水平井眼采用高导热型水泥浆固井;优选地,所述高导热型水泥浆的导热系数大于 $30\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 。

7. 根据权利要求1所述的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法,其特征在于,注入井水平井眼和生产井水平井眼在干热岩储层中处于同一平面内,且在干热岩储层厚度方向上间距为100m-500m。

8. 根据权利要求1所述的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法,其特征在于,所述注入井水平井眼和生产井水平井眼的长度为1000m-1500m,且注入井水平井眼长度与生产井水平井眼长度相同。

9. 根据权利要求1所述的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法,其特征在于,对生产井水平井眼与注入井水平井眼进行射孔时,对生产井水平井眼下半部分进行射孔,且射孔方向向下;对注入井水平井眼上半部分进行射孔,且射孔方向向上。

10. 根据权利要求1所述的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法,其特征在于,在生产井水平井眼和注入井水平井眼内进行分段压裂时,压裂液介质采用超临界二氧化碳。

一种双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种开发干热岩的方法,尤其涉及一种采用双水平井循环超临界二氧化碳的方式开发干热岩的方法,属于地热能开发技术领域。

背景技术

[0002] 随着社会和国民经济的发展,我国对能源的需求量日益扩大。与此同时,传统化石能源的资源枯竭和环境污染等问题日益突出,开发清洁可再生资源已成为世界各国的能源策略。

[0003] 地热能(Geothermal Energy)是由地壳抽取的天然热能,这种能量来自地球内部的熔岩,并以热力形式存在,是引致火山爆发及地震的能量。地热能作为一种清洁可再生新能源,具有储量丰富、分布广泛、低碳环保、易于开采和直接利用等优点。因此,加快地热资源的高效开发利用,对缓解能源需求和大气污染问题具有现实意义。

[0004] 深层干热岩资源(新兴地热能源,一般指温度大于200℃,埋深数千米,内部不存在流体或仅有少量地下流体的高温岩体)以其广泛分布和高热储温度的优势而更具开发潜力与前景,被认为是地热能未来发展的重点目标。

[0005] 我国地热资源丰富,据国土资源部2015年数据显示,全球5km以内地热资源量约4900万亿吨标煤,中国约占1/6。尤其是埋深在3-10km的干热岩资源总量高达 2.52×10^{25} J,相当于860万亿吨标煤,若按2%的可采储量计算,等于中国2010年能源消耗总量的5300倍。在新的能源“十三五”规划中,我国已将大力发展清洁能源作为今后节能减排的重头戏。2017年2月发布的我国《地热能开发利用“十三五”规划》中亦强调:要积极开展干热岩资源的勘查开发与发电试验,建立2-3个干热岩勘查开发示范基地。因此,促进干热岩资源的开发利用对推动我国可再生能源事业的发展具有重要意义。

[0006] 干热岩地层埋藏深,岩石十分致密,渗透率与孔隙度极小。因此在开发干热岩中的地热资源时,必须通过大型水力压裂改造储层,形成换热工质的流动通道。但目前的注采垂直对井的压裂难度大,规模有限,不易形成有效沟通的体积缝网。

[0007] 目前,水仍然是干热岩资源开发的首选取热介质,因为其具有高热容、高导热性等优良热力学性质,并且储量大、来源广、安全性能高。但在地热开发过程中,水易于地层岩石发生水岩反应,从而损害地热储层,降低取热效率,还会带来管线结垢等严重问题。

发明内容

[0008] 为了解决上述技术问题,本发明的目的在于提供一种采热效率高、压裂难度低,不会对储层造成损害的干热岩开发方法。

[0009] 为了实现上述技术目的,本发明提供了一种双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法,该双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法包括以下步骤:

[0010] 确定干热岩储层的顶部和底部的埋藏深度;

[0011] 确定生产井和注入井的井点;

[0012] 在生产井井点, 钻取生产井垂直井眼, 垂直井眼至干热岩储层的顶部以下10m-15m, 造斜并钻取生产井水平井眼, 完钻后下入套管并注水泥浆固井;

[0013] 在注入井井点, 钻取注入井垂直井眼, 垂直井眼至干热岩储层的深度为100m-150m处, 造斜并钻取注入井水平井眼, 完钻后下入套管并注水泥浆固井;

[0014] 对生产井水平井眼与注入井水平井眼进行射孔, 进行分段压裂;

[0015] 将超临界二氧化碳注入注入井内, 保证超临界二氧化碳充足, 维持循环排量, 当生产井产出的超临界二氧化碳的温度低于干热岩储层的温度时, 取热结束, 完成双水平井循环超临界二氧化碳对于干热岩的开发。

[0016] 根据本发明的具体实施方式, 取热过程中, 注入低温超临界二氧化碳的低温前缘不断向生产井推进, 取热一段时间后, 低温前缘到达生产井, 生产井产出的超临界CO₂温度低于干热岩储层的温度, 取热结束。

[0017] 在本发明的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法中, 根据地质勘查, 选取目标干热岩储层, 并按照本领域常规方式确定干热岩储层的顶部与底部的埋藏深度。

[0018] 在本发明的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法中, 优选地, 确定生产井和注入井的井点时, 使生产井的井点和注入井的井点的水平距离为1000m-1500m, 具体距离由干热岩区块的尺寸决定。

[0019] 在本发明的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法中, 优选地, 生产井垂直井眼采用保温型水泥浆固井; 更优选地, 所述保温型水泥浆导热系数小于0.5W/m·K。

[0020] 在本发明的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法中, 优选地, 生产井水平井眼采用高导热型水泥浆固井; 更优选地, 所述高导热型水泥浆导热系数大于30W/m·K。

[0021] 在本发明的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法中, 优选地, 注入井垂直井眼采用高导热型水泥浆固井; 更优选地, 所述高导热型水泥浆的导热系数大于30W/m·K。

[0022] 在本发明的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法中, 优选地, 所述注入井水平井眼采用高导热型水泥浆固井; 更优选地, 所述高导热型水泥浆的导热系数大于30W/m·K。

[0023] 根据本发明的具体实施方式, 采用高导热型水泥浆固井有利于井筒内的超临界二氧化碳与周围地层进行热交换; 采用保温型水泥浆固井可以避免采出的高温超临界二氧化碳与周围地层换热, 起到保温作用。

[0024] 在本发明的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法中, 优选地, 注入井水平井眼和生产井水平井眼在干热岩储层中处于同一平面内, 且在干热岩储层厚度方向上间距为100m-500m。具体间距由干热岩储层的厚度与温度确定, 既保证超临界二氧化碳具有足够长的取热距离, 避免低温前缘过早到达生产井, 从而缩短干热岩储层寿命; 又要避免间距过大增加干热岩储层的压裂难度, 致使压裂缝网无法有效沟通生产井水平井眼和注入井水平井眼。

[0025] 在本发明的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法中, 优选地, 注入井水平井眼和生产井水平井眼的长度为1000m-1500m, 且注入井水平井眼长度与生产井水平井眼长度相同。

[0026] 在本发明的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法中,优选地,对生产井水平井眼与注入井水平井眼进行射孔时,对生产井水平井眼下半部分进行射孔,且射孔方向向下;对注入井水平井眼上半部分进行射孔,且射孔方向向上。

[0027] 在本发明的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法中,优选地,在生产井水平井眼和注入井水平井眼内进行分段压裂时,压裂液介质采用超临界二氧化碳。

[0028] 根据本发明的具体实施方式,在生产井水平井眼和注入井水平井眼内进行分段压裂,在干热岩储层中造出体积缝网,形成取热介质与储层进行热交换的渗流通道,有效沟通注入井眼与生产井眼。

[0029] 根据本发明的具体实施方式,在地面安装生产井井口与注入井井口,并利用高压管汇(气体减压输出装置)将生产井、注入井、高压泵、换热器和超临界二氧化碳补给装置连通,形成循环系统。

[0030] 根据本发明的具体实施方式,超临界二氧化碳的密度对温压条件敏感,在一定温差下容易产生较大的密度差,形成较大浮升力。当将低温超临界二氧化碳泵入注入井内,超临界二氧化碳由注入井水平井眼进入干热岩储层,在储层中的渗流通道内,超临界二氧化碳与干热岩储层进行充分的热交换,温度升高,密度减小,产生向上的浮升力,沿着渗流通道向生产井水平井眼流动,并流入生产井水平井眼内;进入生产井水平井眼的超临界二氧化碳在浮力的作用下,经生产井开采至地面,在地面将采出的高温超临界二氧化碳经换热器进行热交换,进而通过热交换获得干热岩热量,然后将冷却后的超临界二氧化碳通过注入井再次泵入干热岩储层,如此往复循环,形成一个循环的开发干热岩系统。在循环过程中,由于不断有超临界二氧化碳遗留在干热岩储层中,需要定期向循环系统补给超临界二氧化碳,避免循环流量下降幅度过大。

[0031] 本发明的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法的采热效率高,压裂难度降低。在干热岩储层中钻取双水平井眼,可以扩大井眼对储层的控制体积,增大泄流面积,改善储层导流能力,提高储层的采热效率。另外,利用双水平在储层中进行分段体积压裂,可避免双直井长距离压裂时无法有效沟通裂缝的难题,降低压裂难度,通过分段体积压裂形成的体积缝网,更容易沟通生产井与注入井的水平井眼。

[0032] 本发明的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法利用超临界二氧化碳作为取热工质,能耗低。与水相比,超临界二氧化碳黏度小,在干热岩储层中的渗流阻力小,循环取热介质所需要的能量小。超临界二氧化碳的密度对温压条件敏感,在注采的温差条件下容易引起较大的密度差,从而产生浮升力,作为自身循环取热的驱动力。

[0033] 本发明的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法采用的超临界二氧化碳表面张力为零,容易渗入微裂缝内,与储层充分换热,另外,利用该优势,在对干热岩压裂改造时,将超临界二氧化碳作为压裂液,其可以渗入微裂缝加速裂缝扩展,降低压裂改造难度。

[0034] 本发明的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法在开发过程中,部分二氧化碳遗留在地层中,实现了二氧化碳的地质埋存。

附图说明

[0035] 图1为实施例1中的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法的结构图。

[0036] 图2为实施例1中的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法的另一结构图。

[0037] 主要附图符号说明

[0038] 1干热岩储层 2生产井 3注入井 4生产井水平井眼 5注入井水平井眼 6生产井垂直井眼 7上覆非渗透层 8套管 9保温型水泥浆 10尾管 11高导热型水泥浆 12注入井垂直井眼 13炮眼 14体积缝网 15高压管汇 16高压泵 17换热器 18超临界CO₂补给装置 19下部非渗透层

具体实施方式

[0039] 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。

[0040] 实施例1

[0041] 本实施例提供了一种双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法,采用图1和图2所示的井网结构,具体包括以下步骤:

[0042] (1) 根据地质勘查,选取目标干热岩储层1,确定干热岩储层1的顶部与底部的埋藏深度,以确保生产井2和注入井3准确钻达储层;

[0043] (2) 在干热岩储层1对应的地面选择相距1500m的两个井点,分别作为生产井2与注入井3的井口位置;

[0044] (3) 根据区块地质资料,设计生产井2与注入井3的井身结构,确保生产井水平井眼(钻头从地表钻至完钻井深所形成的地底与地表的井筒通道)4和注入井水平井眼5间距合理,在500m范围,并且应处于同一平面;

[0045] (4) 在生产井2的井口,利用钻头钻取生产井垂直井眼6,钻穿上覆非渗透层7,直至干热岩储层1的顶部以下15m停钻,下入套管8,并注入保温型水泥浆9进行固井;

[0046] (5) 在生产井垂直井眼6中下入小一级尺寸的钻头和地质导向工具,进行造斜,并钻取生产井水平井眼4,水平井眼长度为1500m,完钻后下入尾管10并注入高导热型水泥浆11固井;

[0047] (6) 在注入井3的井口,利用钻头钻取注入井垂直井眼12,钻穿上覆非渗透层7,钻达干热岩储层1的深度为500m停钻,下入套管8,并注入高导热型水泥浆11进行固井;

[0048] (7) 在注入井垂直井眼12中下入小一级尺寸的钻头和地质导向工具,进行造斜,并钻取注入井水平井眼5,保证注入井水平井眼5与生产井水平井眼4的长度相同,注入井水平井眼5与下部非渗透层19的垂直距离为20m,完钻后下入尾管10并注入高导热型水泥浆11固井;

[0049] (8) 利用射孔工具,在生产井水平井眼4下半部分向下射孔,形成炮眼13,在注入井水平井眼5上半部分进行射孔,形成炮眼13;

[0050] (9) 将超临界CO₂作为压裂液,在生产井水平井眼4和注入井水平井眼5内进行分段体积压裂,在干热岩储层中造出体积缝网14,形成超临界CO₂与储层进行热交换的渗流通道,有效沟通生产井2与注入井3;

[0051] (10) 在地面安装生产井井口与注入井井口,并利用高压管汇15将生产井2、注入井3、高压泵16、换热器17和超临界CO₂补给装置18连通,形成封闭的循环系统;

[0052] (11) 在地面采用高压泵16将低温超临界CO₂泵入注入井3内,超临界CO₂由注入井水平井眼5进入干热岩储层1;储层中的渗流通道内,超临界CO₂与干热岩储层1进行充分热交换,温度升高,密度减小,产生向上的浮升力,沿着渗流通道向生产井水平井眼4流动,并流入井眼内;进入生产井水平井眼4的超临界CO₂在浮力的作用下,经生产井2开采至地面,在地面将采出的高温超临界CO₂经换热器17进行热交换,然后利用高压泵16将冷却后的超临界CO₂通过注入井3再次泵入干热岩储层1,完成超临界CO₂循环换热,在取热过程中,定期通过超临界CO₂补给装置18为系统补充超临界CO₂,维持循环排量,当生产井产出的超临界二氧化碳的温度低于干热岩储层的温度时,取热结束,完成双水平井循环超临界二氧化碳对干热岩的开发。

[0053] 以上实施例说明,本发明的双水平井循环超临界二氧化碳开发干热岩的方法将双水平井技术引用到干热岩资源的开发中,发挥双水平井技术泄流面积大、储层改造难度小的优势;并将超临界CO₂作为取热工质,解决水作为取热工质时引起的储层损害与结垢问题,实现干热岩的高效开发,推动我国地热能行业的快速发展。

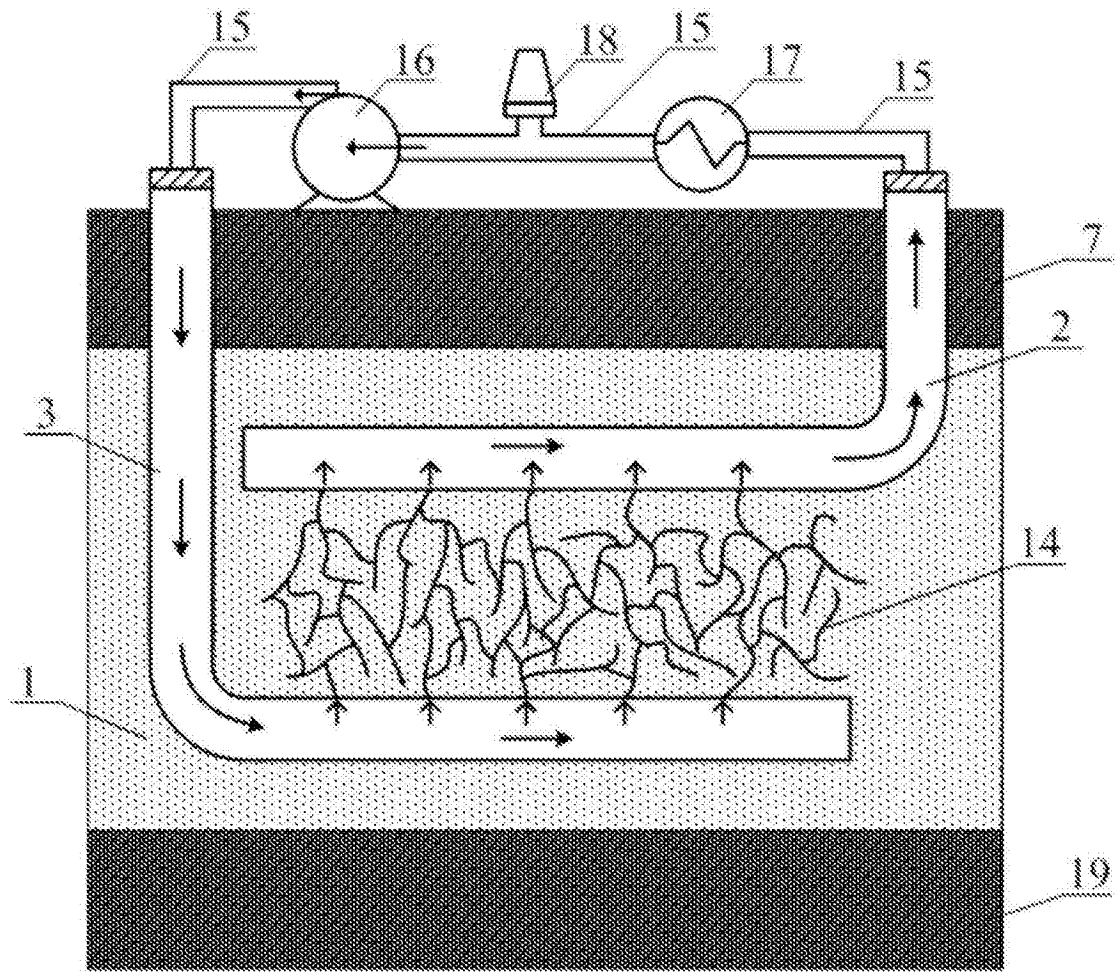


图1

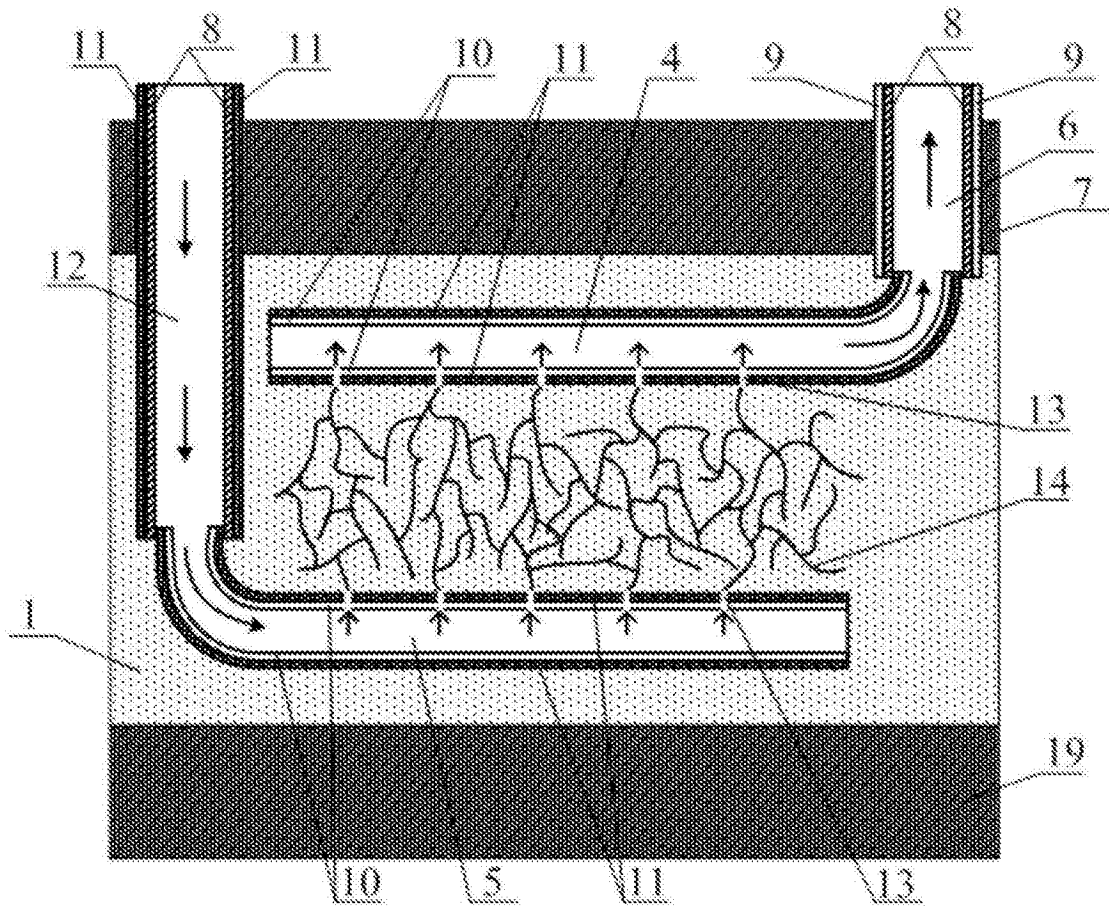


图2