



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105625993 A

(43) 申请公布日 2016. 06. 01

(21) 申请号 201410713233. 6

(22) 申请日 2014. 11. 28

(71) 申请人 吉林大学

地址 130021 吉林省长春市前进大街 2699 号

(72) 发明人 张延军 张佳宁 白林 郭亮亮
李正伟 于子望 胡忠君 许天福

(74) 专利代理机构 北京永新同创知识产权代理有限公司 11376

代理人 杨胜军

(51) Int. Cl.

E21B 43/00(2006. 01)

E21B 43/17(2006. 01)

F24J 3/08(2006. 01)

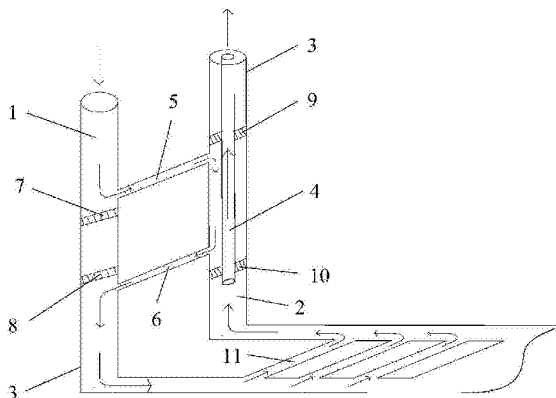
权利要求书3页 说明书8页 附图1页

(54) 发明名称

干热岩多循环加热系统及其生产方法

(57) 摘要

一种干热岩多循环加热系统及其生产方法，其中从地面向下钻取注入井和生产井，在不同干热岩深度处进行人工压裂以得到呈裂缝群形式的第一换热通道和第二换热通道。从注入井注入的水可在至少流经第一换热通道和第二换热通道后从生产井中排出，从而通过单次注水和至少两次不同深度的热交换完成包括至少两次加热循环的加热过程。本发明解决了长期以来地热能获取率和利用率低的状况，其通过在地下不同深处的至少两次加热循环提高了注入水与干热岩进行热交换的效率。与现有的单次循环相比，没有场地要求，也没有大幅度提高技术的难度。本发明不需要进行多次注入和抽出，操作简单，且大大提升了干热岩热能的利用率，提高了干热岩实用度。



1. 一种干热岩多循环加热系统,其包括:

注入井(1);

生产井(2);

流体通道(5),其分别与所述注入井(1)和所述生产井(2)流体连通并相对于地面处于一定深度处;

第一换热通道(6),其形成于地下干热岩中并相对于地面处于第一深度处,所述第一换热通道(6)分别与所述注入井(1)和所述生产井(2)流体连通;

第二换热通道(11),其形成于地下干热岩中并相对于地面处于第二深度处,所述第二换热通道(11)分别与所述注入井(1)和所述生产井(3)流体连通;

封隔装置,其由分别设置于所述注入井(1)和所述生产井(2)中的封隔件构成;以及抽水管(4),其设置于所述生产井(2)中;

其中,从所述注入井(1)注入的水允许在依次流经所述流体通道(5)、所述第一换热通道(6)、所述第二换热通道(11)后经由所述抽水管(4)从所述生产井(2)中排出,从而通过单次注水和至少两次不同深度的热交换完成包括至少两次加热循环的加热过程,

所述第二深度大于所述第一深度,所述一定深度小于所述第一深度和所述第二深度。

2. 根据权利要求1所述的干热岩多循环加热系统,其特征在于,所述第一换热通道(6)和所述第二换热通道(11)中的每一个由在所述注入井(1)和所述生产井(2)之间延伸的天然裂缝群或人工裂缝群构成。

3. 根据权利要求2所述的干热岩多循环加热系统,其特征在于,所述人工裂缝群通过水力压裂法或爆破碎裂法形成。

4. 根据权利要求1所述的干热岩多循环加热系统,其特征在于,所述第一深度为3000米,所述第二深度为4000米。

5. 根据权利要求1所述的干热岩多循环加热系统,其特征在于,所述流体通道(5)由通过水力压裂法或爆破碎裂法形成的人工裂缝群形成或者由钻孔形成,所述流体通道(5)在所述注入井(1)和所述生产井(2)之间延伸,所述一定深度为100-300米。

6. 根据权利要求1所述的干热岩多循环加热系统,其特征在于,所述注入井(1)和所述生产井(2)彼此平行地设置并且两者之间的水平距离为500-700米。

7. 根据权利要求1所述的干热岩多循环加热系统,其特征在于,所述注入井(1)和所述生产井(2)分别包括竖直区段和水平区段,所述第一换热通道(6)在所述注入井(1)的竖直区段和所述生产井(2)的竖直区段之间延伸,所述第二换热通道(11)在所述注入井(1)的水平区段和所述生产井(2)的水平区段之间延伸。

8. 根据权利要求7所述的干热岩多循环加热系统,其特征在于,所述第二换热通道(11)为形成于所述注入井(1)的水平区段和所述生产井(2)的水平区段之间的水平裂缝群(11),其与所述注入井(1)的竖直区段和所述生产井(2)的竖直区段之间的水平距离至少为500米。

9. 根据权利要求7所述的干热岩多循环加热系统,其特征在于,还包括分别设置于所述注入井(1)的竖直区段的侧壁和所述生产井(2)的竖直区段的侧壁处的套管(3),所述封隔装置包括分别设置于所述注入井(1)的竖直区段和所述生产井(2)的竖直区段中的封隔件,所述流体通道(5)设置于所述注入井(1)的竖直区段和所述生产井(2)的竖直区段之

间,由此形成使得从所述注入井(1)注入的水在经过所述流体通道(5)、所述生产井(2)的竖直区段、所述第一换热通道(6)后返回所述注入井(1)的竖直区段的流体通路。

10. 根据权利要求9所述的干热岩多循环加热系统,其特征在于,所述抽水管(4)设置于所述生产井(2)的竖直区段中,所述封隔装置包括设置于所述注入井(1)的竖直区段中的第一封隔件(7)和第二封隔件(8)、设置于所述生产井(2)的竖直区段中的第三封隔件(9)和第四封隔件(10),所述抽水管(4)穿过所述第三封隔件(9)和所述第四封隔件(10)延伸,并在所述生产井(2)的竖直区段中的套管(3)与所述抽水管(4)之间构成流水环隙,所述流体通道(5)在所述第一换热通道(6)的上方延伸,所述第一封隔件(7)和所述第二封隔件(8)将所述注入井(1)的竖直区段分隔为上部区域、中部区域和下部区域,所述第三封隔件(9)和所述第四封隔件(10)将所述生产井(2)的竖直区段分隔为上部区域、中部区域和下部区域,从所述注入井(1)注入的水允许依次经过所述注入井(1)的竖直区段的上部区域、所述流体通道(5)、所述生产井(2)的竖直区段的中部区域和所述第一换热通道(6)到达所述注入井(1)的竖直区段的下部区域,并且接着经过所述第二换热通道(11)、所述生产井(2)的竖直区段的下部区域后经由所述抽水管(4)从所述生产井(2)中排出。

11. 根据权利要求10所述的干热岩多循环加热系统,其特征在于,所述第一封隔件(7)设置在所述流体通道(5)的下部10-20米处,所述第二封隔件(8)设置在所述第一换热通道(6)的上部10-20米处,所述第三封隔件(9)设置在所述流体通道(5)的上部10-20米处,所述第四封隔件(10)设置在所述第一换热通道(6)的下部10-20米处。

12. 一种干热岩多循环加热系统的生产方法,其包括以下步骤:

从地面竖直向下分别钻取注入井(1)和生产井(2);

在将所述注入井(1)和所述生产井(2)分别钻进到一定深度时停止钻进,通过水平钻孔或人工压裂技术产生分别与所述注入井(1)和所述生产井(2)流体连通的流体通道(5);

继续将所述注入井(1)和所述生产井(2)分别钻进到第一深度处停止钻进,通过人工压裂技术在地下干热岩中压裂出分别与所述注入井(1)和所述生产井(2)流体连通的第一换热通道(6);

继续将所述注入井(1)和所述生产井(2)分别钻进到第二深度处停止竖直钻进,结束所述注入井(1)的竖直区段和所述生产井(2)的竖直区段的钻设,开始水平钻进,以在地下干热岩中产生彼此平行的所述注入井(1)的水平区段和所述生产井(2)的水平区段;

水平钻进一定距离后停止钻进,通过人工压裂技术压裂出分别与所述注入井(1)和所述生产井(2)流体连通的第二换热通道(11);

分别在所述注入井(1)和所述生产井(2)中下入套管(3);

分别在所述注入井(1)和所述生产井(2)的套管(3)中设置封隔件,并在所述生产井(2)的套管(3)内设置抽水管(4),以使得从所述注入井(1)注入的水允许在依次流经所述流体通道(5)、所述第一换热通道(6)和所述第二换热通道(11)后经由所述抽水管(4)从所述生产井(2)中排出。

13. 根据权利要求12所述的干热岩多循环加热系统的生产方法,其特征在于,所述第一换热通道(6)和所述第二换热通道(11)分别为通过水力压裂法或爆破碎裂法形成的人工裂缝群。

14. 根据权利要求 12 所述的干热岩多循环加热系统的生产方法,其特征在于,所述第一深度为 3000 米,所述第二深度为 4000 米。

15. 根据权利要求 12 所述的干热岩多循环加热系统的生产方法,其特征在于,所述流体通道 (5) 为通过水力压裂法或爆破碎裂法形成的人工裂缝群,所述一定深度为 100-300 米。

16. 根据权利要求 12 所述的干热岩多循环加热系统的生产方法,其特征在于,所述注入井 (1) 与所述生产井 (2) 之间的水平距离为 500-700 米。

17. 根据权利要求 12 所述的干热岩多循环加热系统的生产方法,其特征在于,所述一定距离为至少 500 米。

18. 根据权利要求 12 所述的干热岩多循环加热系统的生产方法,其特征在于,所述套管 (3) 仅仅设置在所述注入井 (1) 的竖直区段和所述生产井 (2) 的竖直区段中。

19. 根据权利要求 12 所述的干热岩多循环加热系统的生产方法,其特征在于,设置封隔件的步骤包括在所述注入井 (1) 的竖直区段中设置第一封隔件 (7) 和第二封隔件 (8) 以及在所述生产井 (2) 的竖直区段中设置第三封隔件 (9) 和第四封隔件 (10),所述第一封隔件 (7) 设置在所述流体通道 (5) 的下部 10-20 米处,所述第二封隔件 (8) 设置在所述第一换热通道 (6) 的上部 10-20 米处,所述第三封隔件 (9) 设置在所述流体通道 (5) 的上部 10-20 米处,所述第四封隔件 (10) 设置在所述第一换热通道 (6) 的下部 10-20 米处。

20. 根据权利要求 19 所述的干热岩多循环加热系统的生产方法,其特征在于,所述抽水管 (4) 穿过所述第三封隔件 (9) 和所述第四封隔件 (10) 延伸,所述生产井 (2) 的竖直区段中的套管 (3) 与所述抽水管 (4) 之间构成流水环隙。

干热岩多循环加热系统及其生产方法

技术领域

[0001] 本发明涉及利用地下深部的热能并通过热交换获取地热能的热能转换系统及其生产方法,尤其是干热岩多循环加热系统及其生产方法。

背景技术

[0002] 随着经济的发展和人民生活水平的提高,能源与环境问题越来越成为人类关注的主题,其中,干热岩作为一种深埋于地下的清洁能源,其蕴藏的热量十分丰富,但一直未得到大规模的开发利用。

[0003] 目前,国内中深层地热能开采技术并不成熟,尚未发现关于多次循环加热的报导,而且关于人工压裂技术的报导较少。国际上则普遍采用单循环法获取地热能,其存在着地热能获取率和利用率低等缺陷。

[0004] 例如,WO 2012/173916 A1 公开了一种利用地热能的系统,该系统包括生产套管和位于生产套管中的生产管。生产套管与生产管之间形成有环形空间,该环形空间中设有封隔件。该系统采用单井操作,加热后的温度往往达不到要求,且地热能利用率低。

[0005] US 2013/112402 A1 公开了一种地热井形成方法,所述地热井具有第一区段、第二区段以及将所述第一区段和所述第二区段彼此相连的弧形区段。该地热井在地下进行循环加热,其同样存在着“加热后的温度往往达不到要求,地热能利用率低”等缺陷。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于针对上述现有技术中的缺陷,提出一种干热岩多循环加热系统及其生产方法,其可以通过在单次注水的情况下利用至少两次加热循环使得注入水与干热岩进行多次热交换,由此显著提高地热能利用率和热交换效率。

[0007] 为此,根据本发明的一个方面,提出一种干热岩多循环加热系统,其包括:

[0008] 注入井;

[0009] 生产井;

[0010] 流体通道,其分别与所述注入井和所述生产井流体连通并相对于地面处于一定深度处;

[0011] 第一换热通道,其形成于地下干热岩中并相对于地面处于第一深度处,所述第一换热通道分别与所述注入井和所述生产井流体连通;

[0012] 第二换热通道,其形成于地下干热岩中并相对于地面处于第二深度处,所述第二换热通道分别与所述注入井和所述生产井流体连通;

[0013] 封隔装置,其由分别设置于所述注入井和所述生产井中的封隔件构成;以及

[0014] 抽水管,其设置于所述生产井中;

[0015] 其中,从所述注入井注入的水允许在依次流经所述流体通道、所述第一换热通道、所述第二换热通道后经由所述抽水管从所述生产井中排出,从而通过单次注水和至少两次不同深度的热交换完成包括至少两次加热循环的加热过程,

[0016] 所述第二深度大于所述第一深度,所述一定深度小于所述第一深度和所述第二深度。

[0017] 有利的是,所述第一换热通道和所述第二换热通道中的每一个由在所述注入井和所述生产井之间延伸的天然裂缝群或人工裂缝群构成。

[0018] 有利的是,所述人工裂缝群可通过人工压裂法、例如水力压裂法或爆破碎裂法形成。

[0019] 有利的是,为获取理想的热交换效果,所述第一深度被设定为 3000 米,所述第二深度被设定为 4000 米。

[0020] 有利的是,所述流体通道由通过水力压裂法或爆破碎裂法形成的人工裂缝群形成或者由钻孔形成(优选由人工裂缝群形成),所述流体通道在所述注入井和所述生产井之间延伸,所述一定深度为 100-300 米。

[0021] 有利的是,所述注入井和所述生产井彼此平行地设置并且两者之间的水平距离为 500-700 米。

[0022] 有利的是,所述注入井和所述生产井分别包括竖直区段和水平区段,所述第一换热通道在所述注入井的竖直区段和所述生产井的竖直区段之间延伸,所述第二换热通道在所述注入井的水平区段和所述生产井的水平区段之间延伸。

[0023] 有利的是,所述第二换热通道为形成于所述注入井的水平区段和所述生产井的水平区段之间的水平裂缝群,其与所述注入井的竖直区段和所述生产井的竖直区段之间的水平距离至少为 500 米。

[0024] 有利的是,所述干热岩多循环加热系统还包括分别设置于所述注入井的竖直区段的侧壁和所述生产井的竖直区段的侧壁处的套管,所述封隔装置包括分别设置于所述注入井的竖直区段和所述生产井的竖直区段中的封隔件,所述流体通道设置于所述注入井的竖直区段和所述生产井的竖直区段之间,由此形成使得从所述注入井注入的水在经过所述流体通道、所述生产井的竖直区段、所述第一换热通道后返回所述注入井的竖直区段的流体通路。

[0025] 有利的是,所述抽水管设置于所述生产井的竖直区段中,所述封隔装置包括设置于所述注入井的竖直区段中的第一封隔件和第二封隔件、设置于所述生产井的竖直区段中的第三封隔件和第四封隔件,所述抽水管穿过所述第三封隔件和所述第四封隔件延伸,并在所述生产井的竖直区段中的套管与所述抽水管之间构成流水环隙,所述流体通道在所述第一换热通道的上方延伸,所述第一封隔件和所述第二封隔件将所述注入井的竖直区段分隔为上部区域、中部区域和下部区域,所述第三封隔件和所述第四封隔件将所述生产井的竖直区段分隔为上部区域、中部区域和下部区域,从所述注入井注入的水允许依次经过所述注入井的竖直区段的上部区域、所述流体通道、所述生产井的竖直区段的中部区域和所述第一换热通道到达所述注入井的竖直区段的下部区域,并且接着经过所述第二换热通道、所述生产井的竖直区段的下部区域后经由所述抽水管从所述生产井中排出。

[0026] 有利的是,所述第一封隔件设置在所述流体通道的下部 10-20 米处,所述第二封隔件设置在所述第一换热通道的上部 10-20 米处,所述第三封隔件设置在所述流体通道的上部 10-20 米处,所述第四封隔件设置在所述第一换热通道的下部 10-20 米处。

[0027] 根据本发明的另一方面,提出一种干热岩多循环加热系统的生产方法,其包括以

下步骤：

[0028] 从地面竖直向下分别钻取注入井和生产井；

[0029] 在将所述注入井和所述生产井分别钻进到一定深度时停止钻进，通过水平钻孔或人工压裂技术产生分别与所述注入井和所述生产井流体连通的流体通道；

[0030] 继续将所述注入井和所述生产井分别钻进到第一深度时停止钻进，通过人工压裂技术在地下干热岩中压裂出分别与所述注入井和所述生产井流体连通的第一换热通道；

[0031] 继续将所述注入井和所述生产井分别钻进到第二深度时停止钻进，结束所述注入井的竖直区段和所述生产井的竖直区段的钻设，开始水平钻进，以在地下干热岩中产生彼此平行的所述注入井的水平区段和所述生产井的水平区段；

[0032] 水平钻进一定距离后停止钻进，通过人工压裂技术压裂出分别与所述注入井和所述生产井流体连通的第二换热通道；

[0033] 分别在所述注入井和所述生产井中下入套管；

[0034] 分别在所述注入井和所述生产井的套管中设置封隔件，并在所述生产井的套管内设置抽水管，以使得从所述注入井注入的水允许在依次流经所述流体通道、所述第一换热通道和所述第二换热通道后经由所述抽水管从所述生产井中排出。

[0035] 根据本发明的方法，有利的是，所述第一深度为 3000 米，所述第二深度为 4000 米。

[0036] 根据本发明的方法，有利的是，所述流体通道为通过水力压裂法或爆破碎裂法形成的人工裂缝群，所述一定深度为 100-300 米。

[0037] 根据本发明的方法，有利的是，所述注入井与所述生产井之间的水平距离为 500-700 米。

[0038] 根据本发明的方法，有利的是，所述一定距离为至少 500 米。

[0039] 根据本发明的方法，有利的是，所述套管仅仅设置在所述注入井的竖直区段和所述生产井的竖直区段中。

[0040] 根据本发明的方法，有利的是，设置封隔件的步骤包括在所述注入井的竖直区段中设置第一封隔件和第二封隔件以及在所述生产井的竖直区段中设置第三封隔件和第四封隔件，所述第一封隔件设置在所述流体通道的下部 10-20 米处，所述第二封隔件设置在所述第一换热通道的上部 10-20 米处，所述第三封隔件设置在所述流体通道的上部 10-20 米处，所述第四封隔件设置在所述第一换热通道的下部 10-20 米处。

[0041] 根据本发明的方法，有利的是，所述抽水管穿过所述第三封隔件和所述第四封隔件延伸，所述生产井的竖直区段中的套管与所述抽水管之间构成流水环隙。

[0042] 本发明的干热岩多循环加热系统及其生产方法在克服了上述现有技术中的缺陷的同时，可以达到以下显著有益效果：

[0043] 本发明的干热岩多循环加热系统为一种可使注入水（温度例如为 T_0 ）在流经第一深度处（例如 3000 米）时与干热岩进行一次热交换（温度例如上升至 T_1 ）、接着流经第二深度（例如 4000 米）时再次与干热岩进行热交换（温度例如上升至 T_2 ）的高能利用系统。本发明解决了长期以来地热能获取率和利用率低的状况，即，其在地下不同深部处采用单次注入下的多次循环（至少两次循环），提高了注入水与干热岩进行热交换的利用率。与以往的单次循环相比，本发明没有提高对场地的要求，也没有大幅度提高技术的难度性。本发明不需要进行多次（例如两次）注入和抽出，使用起来简单、方便，且生产成本低，工作

效率显著提高。本发明通过至少两次不同深度的热交换,大大提升了干热岩热能的利用率,提高了干热岩实用度。此外,本发明的干热岩多循环加热系统的生产方法实施起来简单、方便,且具有很好的经济性。

附图说明

[0044] 为了更清楚地理解本发明的特征和优点,下面参照附图和以举例方式示出的实施例对本发明进行更详细的描述。

[0045] 图 1 是根据本发明的一个实施例的干热岩多循环加热系统的结构示意图;

[0046] 图 2 示出了图 1 所示干热岩多循环加热系统的水流走向。

具体实施方式

[0047] 图 1 是根据本发明的一个实施例的干热岩多循环加热系统的结构示意图。

[0048] 如图 1 所示,本发明的该实施例的干热岩多循环加热系统主要包括注入井 1、生产井 2、流体通道 5、第一换热通道 6 和第二换热通道 11。

[0049] 注入井 1 与生产井 2 之间的水平距离可设定为大约 500-700 米。注入井 1 和生产井 2 分别包括竖直区段和水平区段。所述竖直区段的侧壁处分别设有套管 3,所述水平区段中无套管。

[0050] 流体通道 5 在注入井 1 的竖直区段和生产井 2 的竖直区段之间延伸,其与注入井 1 和生产井 2 流体连通,并相对于地面处于大约 100-300 米的深度处。根据该实施例,流体通道 5 由可通过本领域中已知的各种人工压裂法(例如现有的水力压裂法或爆破碎裂法)形成的人工裂缝群构成。当然,如前所述,该流体通道 5 也可由钻孔构成。

[0051] 第一换热通道 6 形成于地下干热岩中,其相对于地面处于第一深度处并在注入井 1 的竖直区段和生产井 2 的竖直区段之间延伸。根据该实施例,第一换热通道 6 由人工裂缝群构成,其例如可通过水力压裂法或爆破碎裂法形成。当然,如前所述,第一换热通道 6 也可由天然裂缝群构成。第一换热通道 6 分别与注入井 1 和生产井 2 流体连通。

[0052] 第二换热通道 11 形成于地下干热岩中,其相对于地面处于第二深度处并在注入井 1 的水平区段和生产井 2 的水平区段之间延伸。第二换热通道 11 与注入井 1 的竖直区段和生产井 2 的竖直区段之间的水平距离至少为 500 米。根据该实施例,第二换热通道 11 由人工裂缝群构成,其例如通过水力压裂法或爆破碎裂法形成。当然,如前所述,第二换热通道 11 也可由天然裂缝群构成。第二换热通道 6 分别与注入井 1 和生产井 2 流体连通。

[0053] 参考现有的干热岩井,其一般深度为 4000 米左右。另外,在本发明的上述干热岩多循环加热系统中,典型地通过例如由水力压裂技术形成的两层人工裂缝群进行热交换。考虑到水力压裂技术得到的裂缝影响范围大、规律小,且方向性不确定,为此两层人工裂缝群之间应当具有一定距离。然而,距离地面越近,岩体温度越低,上述距离如果太大,加热效果将会降低。为此,根据本发明的上述实施例,第一深度被设计为大约 3000 米,所述第二深度被设计为大约 4000 米。

[0054] 所述热岩多循环加热系统还包括封隔装置和抽水管 4,所述封隔装置包括设置于注入井 1 的竖直区段中的第一封隔件 7 和第二封隔件 8 以及设置于生产井 2 的竖直区段中的第三封隔件 9 和第四封隔件 10,所述抽水管 4 穿过所述第三封隔件 9 和所述第四封隔件

10 在生产井 2 的竖直区段中延伸,并在所述生产井 2 的竖直区段中的套管 3 与抽水管 4 之间构成流水环隙。优选地,第一封隔件 7 设置在流体通道 5 的下部 10-20 米处,第二封隔件 8 设置在第一换热通道 6 的上部 10-20 米处,第三封隔件 9 设置在流体通道 5 的上部 10-20 米处,第四封隔件 10 设置在第一换热通道 6 的下部 10-20 米处。

[0055] 本发明中的封隔件可以通过本领域中已知的现有封隔技术进行。例如,如果考虑到需要适应较高的温度,可以采用钢筋混凝土封隔技术:即,在井中下入套管后,架起钢筋,浇筑混凝土;如果考虑快速便捷性能,则可以采用石材封堵技术:即,制作与井径相当的岩体,并放置在封隔位置,然后浇筑混凝土密封;或者可以采用橡胶封隔,例如,在相关部件的外侧设置一层特殊橡胶套,其注水后将自动膨胀,由此实现所需的封隔作用。显然,本领域的技术人员可以根据经验和实际需要自由地选择适宜的封隔技术,这里不再赘述。

[0056] 通过本发明的上述结构设计,第一封隔件 7 和第二封隔件 8 将注入井 1 的竖直区段分隔为上部区域、中部区域和下部区域,第三封隔件 9 和第四封隔件 10 将生产井 2 的竖直区段分隔为上部区域、中部区域和下部区域。在此情况下,从注入井 1 注入的水可依次经过注入井 1 竖直区段的上部区域、流体通道 5、生产井 2 的竖直区段的中部区域和第一换热通道 6 到达注入井 1 的竖直区段的下部区域,并接着经过第二换热通道 11、生产井 2 的竖直区段的下部区域后经由抽水管 4 后从生产井 2 中排出。

[0057] 本发明的套管 3 可分段设置在注入井 1 和生产井 2 中。流体通道 5、第一换热通道 6 与注入井 1 和生产井 2 接触的部分可以不设置套管。或者,注入井 1 中的套管 3 的侧壁中设有通向流体通道 5 的出口,所述出口处可设有过滤装置,以避免例如砂石的杂质的流入。

[0058] 结合图 2,本发明的干热岩多循环加热系统例如可按照如下方式使用:

[0059] 首先,在生产井 2 的井口处安装好抽水设备;

[0060] 向注入井 1 中注水,其温度例如为 T_0 ,由于注入井 1 中的第一封隔件 7 的阻隔,水流经流体通道 5 进入生产井 2 的套管 3 与抽水管 4 之间的流水环隙;

[0061] 水在生产井 2 的流水环隙中向下流动,由于生产井 2 的第三封隔件 9 和第四封隔件 10 的阻隔流经第一换热通道 6,然后流入注入井 1 中,因此水温上升至 T_1 ,完成第一次加热循环;

[0062] 水在注入井 1 中由竖直区段流向水平区段,经过第二换热通道 11 流入生产井 2 的水平区段,水温再次上升至 T_2 ,接着水从生产井 2 的水平区段流动至竖直区段,通过生产井 2 中的第四封隔件 10 的阻隔,水流入抽水管 4,完成第二次加热循环;

[0063] 最后,水从生产井 2 的井口处由抽水设备抽出。

[0064] 显然,根据本发明的干热岩多循环加热系统为一种高能利用系统,其中注入水(温度为 T_0)流经第一换热通道 6 时与干热岩进行第一次热交换(温度上升至 T_1),完成第一次加热循环,接着流经第二换热通道 11 时再次与干热岩进行热交换(温度上升至 T_2),完成第二次加热循环。第一换热通道 6 处于地下大约 3000 米处,其中干热岩温度约为 120°C 。第二换热通道 11 处于地下大约 4000 米处,干热岩温度约为 160°C 。按经验估计,通过上述两次热交换,抽出水的温度大约为 $60-80^{\circ}\text{C}$ 。

[0065] 根据本发明的上述实施例的干热岩多循环加热系统可以通过以下方法生产,该生产方法包括以下步骤:

[0066] 从地面竖直向下分别钻取注水井 1 和抽水井 2,注水井 1 与抽水井 2 之间的水平距

离为大约 500-700 米；

[0067] 将注水井 1 和抽水井 2 分别钻进到大约 100-300 米时停钻,通过人工压裂技术(优选为水力压力技术)压裂出贯通两井的流体通道(即上裂缝群)5；

[0068] 继续分别钻进到大约 3000 米停钻,再次通过人工压裂技术压裂出贯通两井的第一换热通道(即下裂缝群)6；

[0069] 继续钻进到大约 4000 米停止竖直钻进,改为水平钻进,水平钻进至少 500 米停钻,再次通过人工压裂技术压裂出贯通两井的第二换热通道(即水平裂缝群)11；

[0070] 分别在注水井 1 和抽水井 2 中下入套管 3,在注水井 1 的套管 3 内的第一换热通道 6 的上部 10-20 米处设置第二封隔器 8,在流体通道 5 的下部 10-20 米处设置第一封隔器 7；

[0071] 在抽水井 2 的套管 3 内的第一换热通道的 6 的下部 10-20 米处设置第四封隔器 10,在流体通道 5 的上部 10-20 米处设置第三封隔器 9；

[0072] 在抽水井 2 的竖直区段的套管 3 内设置抽水管 4,该抽水管 4 穿过第三封隔器 9 和第四封隔器 10,套管 3 与抽水管 4 之间形成流水环隙。

[0073] 下面给出根据本发明的上述干热岩多循环加热系统的具体实例。

[0074] 实例 1

[0075] 在地表分别钻取两口相互平行且相距 500 米的注入井 1 和生产井 2。注入井 1 和生产井 2 将分别包括竖直区段和水平区段。注入井 1 和生产井 2 的竖直区段的深度为 4000 米,水平区段的长度为 500 米。注入井 1 和生产井 2 的竖直区段的管壁均为材质相同的套管 3,在生产井 2 的套管 3 内部的竖直区段设置抽水管 4。

[0076] 注入井 1 和生产井 2 的第一次钻深为 100 米,然后在注入井 1 和生产井 2 的井底处同时进行水力压裂,得到流体通道(上裂缝群)5。

[0077] 完成第一次压裂后,注入井 1 和生产井 2 分别延原钻孔继续钻进至 3000 米深处停止钻进,同时进行第二次水力压裂,得到第一换热通道(下裂缝群)6。再分别延原钻孔继续钻进至 4000 米改为水平钻进,保持两口井平行,钻进长度 500 米停止钻进,同时进行第三次水力压裂,得到第二换热通道(水平裂缝群)11。

[0078] 为了实现二次加热循环(双循环),在注入井 1 中设有第一封隔件 7 和第二封隔件 8,在生产井 2 中设有第三封隔件 9 和第四封隔件 10。第一封隔件 7 设在注入井 1 的套管 3 中流体通道 5 的下部 10 米处;封隔件 8 设在注入井 1 的套管 3 中第一换热通道 6 的上部 10 米处。第三封隔件 9 和第四封隔件 10 均设在生产井 2 的套管 3 和抽水管 4 之间,第三封隔件 9 设在流体通道 5 的上部 10 米处,第四封隔件 10 设在生产井 2 的套管 3 和抽水管 4 之间第一换热通道 6 的下部 10 米处。

[0079] 在注入井 1 的井口安装加压装置和注水装置。在生产井 2 的井口安装抽水泵和储水装置。

[0080] 使用时,可利用注水装置向注入井 1 中持续注入大量温度为 T_0 的水,并通过加压装置加压,水通过干热岩多循环加热系统进行加热。由于封隔件 7 的阻隔,水流经流体通道 5,进入生产井 2 中的套管 3 与抽水管 4 之间的流水环隙中;水在生产井 2 中向下流动,由于第三封隔件 9 和第四封隔件 10 的阻隔,流经第一换热通道 6,升温至 T_1 ,流入注入井 1 中,完成第一次加热循环。接着,水在注入井 1 中由竖直区段流向水平区段,经过第二换热通道 11

流动至生产井 2 的水平区段,升温至 T_2 。水从生产井 2 的水平区段流动至竖直区段,在第四封隔件 10 的阻隔下,流入抽水管 4,完成第二次加热循环。在生产井 2 的井口通过抽水管 4 和抽水泵抽出经过干热岩加热的热水,再通过储水装置储存,完成获取地热能的循环。

[0081] 实例 2

[0082] 在地表分别钻取两口相互平行且相距 700 米的注入井 1 和生产井 2。

[0083] 注入井 1 和生产井 2 的第一次钻深为 300 米,然后在注入井 1 和生产井 2 的井底处同时进行水力压裂,得到流体通道 5。

[0084] 注入井 1 和生产井 2 延原钻孔继续竖直向下钻进,钻至 3000 米时进行第二次水力压裂,得到第一换热通道 6。

[0085] 注入井 1 和生产井 2 延原钻孔继续竖直向下钻进,钻至 4000 米处改为水平方向钻进,水平钻取注入井 1 和生产井 2,水平长度为 500 米,形成 L 型井,仍然保持注入井 1 与生产井 2 平行。在地下 4000 米深的水平区段处进行水力压裂,得到第二换热通道 11。

[0086] 在注入井 1 中设置套管 3,在第一换热通道 6 上部 20 米处设置第二封隔件 8,在流体通道 5 下部 20 米处设置第一封隔件 7。

[0087] 在生产井 2 中设置套管 3,在套管 3 内部设置抽水管 4,在第一换热通道 6 的下部 20 米处,在套管 3 和抽水管 4 之间设置第四封隔件 10;在流体通道 5 的上部 20 米处,在套管 3 和抽水管 4 之间设置第三封隔件 9。

[0088] 在注入井 1 的井口附近安装加压装置和注水装置。在生产井 2 的井口附近安装抽水泵和储水装置。

[0089] 实例 3

[0090] 在地表分别钻取两口相互平行且相距 600 米的注入井 1 和生产井 2。

[0091] 注入井 1 和生产井 2 的第一次钻深为 150 米,然后在注入井 1 和生产井 2 的井底处同时进行水力压裂,得到流体通道 5。

[0092] 注入井 1 和生产井 2 延原钻孔继续竖直向下钻进,钻至 3000 米时进行第二次水力压裂,得到第一换热通道 6。

[0093] 注入井 1 和生产井 2 延原钻孔继续竖直向下钻进,钻至 4000 米处改为水平方向钻进,水平钻取注入井 1 和生产井 2,水平长度为 600 米,形成 L 型井,仍然保持注入井 1 与生产井 2 平行。在地下 4000 米深的水平区段处进行水力压裂,得到第二换热通道 11。

[0094] 在注入井 1 中设置套管 3,在第一换热通道 6 的上部 20 米处设置第二封隔件 8,在流体通道 5 的下部 20 米处设置第一封隔件 7。

[0095] 在生产井 2 中设置套管 3,在套管 3 内部设有抽水管 4,在第一换热通道 6 的下部 20 米处,在套管 3 和抽水管 4 之间设置第四封隔件 10;在流体通道 5 的上部 20 米处,在套管 3 和抽水管 4 之间设置第三封隔件 9。

[0096] 在注入井 1 的井口附近安装加压装置和注水装置。在生产井 2 的井口附近安装抽水泵和储水装置。

[0097] 本发明的干热岩多循环加热系统及其生产方法可广泛地应用于热能发电、供暖设备等领域中。

[0098] 以上已经结合优选实施例和具体实例对本发明进行了详细描述。很明显,上述优选实施例和具体实例均应被理解为是示例性的,而非对本发明的限制。对于本领域的技术

人员来讲,可以在本发明的基础上对其进行各种变型或修改。例如,虽然本发明的实施例以进行两次热交换为例对本发明进行了举例说明,很明显,根据实际需要,适当时也可以另外提供第三换热通道以进行第三次热交换,从而进一步提供热能利用效率;另外,虽然上述描述中对本发明中的一些部件的材料或构造方式等进行了示范性描述,本领域的技术人员显然还可以根据本领域已知的各种公知常识或常规技术对各部件的材料、结构以及这里未示出或未描述的各种细节等进行各种变化或合理选择;又如,虽然本发明中给出了关于一些尺寸的具体数值或数值范围,这些数值或数值范围并非必须严格局限于此,而是可以根据实际需要在一定的范围内进行变化或修改。这些变型或修改均不脱离本发明的精神和范围。

[0099] 附图标记列表

- [0100] 1 注入井
- [0101] 2 生产井
- [0102] 3 套管
- [0103] 4 抽水管
- [0104] 5 流体通道
- [0105] 6 第一换热通道
- [0106] 7 第一封隔件
- [0107] 8 第二封隔件
- [0108] 9 第三封隔件
- [0109] 10 第四封隔件
- [0110] 11 第二换热通道

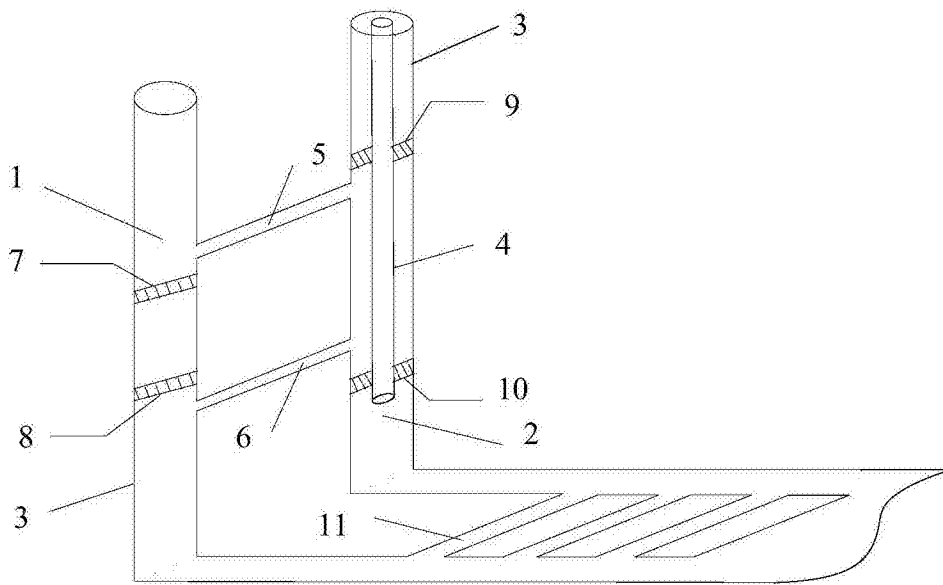


图 1

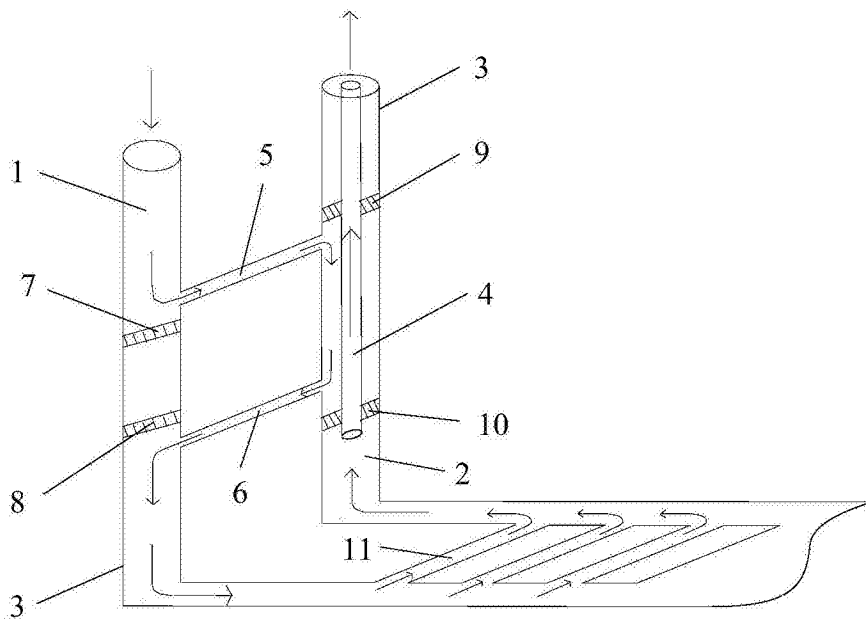


图 2