



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110986401 B

(45) 授权公告日 2020.11.06

(21) 申请号 201911238794.4

E21B 7/20 (2006.01)

(22) 申请日 2019.12.06

E21B 33/13 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

E21B 36/00 (2006.01)

申请公布号 CN 110986401 A

E21B 43/30 (2006.01)

(43) 申请公布日 2020.04.10

审查员 毛牯

(73) 专利权人 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 许富强 李根生 石宇

黄中伟 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 钱能 张印铎

(51) Int. Cl.

F24T 10/40 (2018.01)

E21B 7/04 (2006.01)

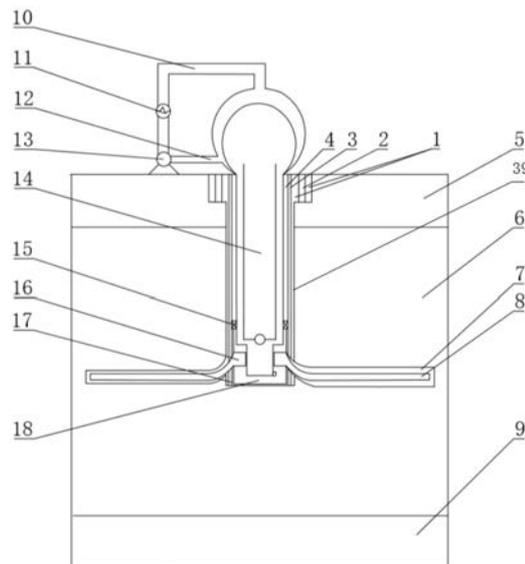
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

采用多分支径向水平井的地热资源开发系统及其方法

(57) 摘要

本发明公开了一种采用多分支径向水平井的地热资源开发系统及其方法,其涉及地热能开发与利用领域,开发系统包括:主井段,主井段的下端位于地热岩层储层;至少一个水平井段,水平井段开设在主井段的下端的侧壁上;热管单元,包括至少一个第一热管和第二热管,第一热管设置在水平井段中,第二热管设置在主井段中,第一热管的一端延伸至主井段与第二热管的下端进行换热;地面热交换系统,其包括用于与第二热管的上端进行热交换的地面换热装置、热交换装置和驱动泵,地面换热装置、热交换装置和驱动泵三者相连通形成循环管线。本申请能够有效提高传热效率,降低传输过程中的能量损耗率,更能够在小温差下实现大热量的传输。



1. 一种采用多分支径向水平井的地热资源开发系统,其特征在于,所述采用多分支径向水平井的地热资源开发系统包括:

具有沿垂直方向趋势延伸的主井段,所述主井段的下端位于地热岩层储层;

至少一个水平井段,所述水平井段开设在所述主井段的下端的侧壁上;

热管单元,包括至少一个第一热管和第二热管,所述第一热管设置在所述水平井段中,所述第二热管设置在所述主井段中,所述第一热管的一端延伸至所述主井段与所述第二热管的下端进行换热;所述第二热管内设置有沿垂直方向延伸的内管,所述内管与所述第二热管的侧壁之间的内外管环空形成用于冷凝液体下流的下流通道;所述内管的内部形成用于气体上升的上升通道;

地面热交换系统,其包括用于与第二热管的上端进行热交换的地面换热装置、热交换装置和驱动泵,所述地面换热装置、所述热交换装置和所述驱动泵三者相连通形成循环管线。

2. 根据权利要求1所述的采用多分支径向水平井的地热资源开发系统,其特征在于,所述内管外套设有第一绝热保温管。

3. 根据权利要求1所述的采用多分支径向水平井的地热资源开发系统,其特征在于,所述内管上安装有控制所述上升通道中气体流体的调节阀。

4. 根据权利要求1所述的采用多分支径向水平井的地热资源开发系统,其特征在于,所述第二热管的上端的外侧壁上设置有翅片;所述地面换热装置包裹住所述第二热管的上端,所述地面换热装置与所述第二热管的上端之间形成部分所述循环管线。

5. 根据权利要求1所述的采用多分支径向水平井的地热资源开发系统,其特征在于,所述多分支径向水平井地热资源开发系统还包括:设置所述第二热管的外侧壁与所述主井段的生产套管之间的封隔器,所述封隔器位于所述第一热管的一端与所述第二热管的下端进行换热处的上方;套设在所述第二热管外的第二绝热保温管,所述第二绝热保温管位于所述封隔器上方。

6. 根据权利要求5所述的采用多分支径向水平井的地热资源开发系统,其特征在于,所述多分支径向水平井地热资源开发系统还包括:设置在所述水平井段中的尾管,所述尾管采用高导热型水泥浆进行固井;设置在所述主井段中的生产套管,所述主井段的井底及井底的所述生产套管的内壁面处铺设绝热保温材料,所述第一热管延伸至所述主井段的一端的侧壁与绝热保温材料紧密接触以使所述封隔器、铺设的绝热保温材料和所述第一热管形成井底绝热空间;所述第一热管与尾管之间填充高导热工质;所述井底绝热空间中填充高导热工质以淹没所述第二热管的下端以及所述第一热管伸至所述主井段的一端。

7. 一种采用多分支径向水平井的地热资源开发方法,其特征在于,所述采用多分支径向水平井的地热资源开发方法包括以下步骤:

对热储区块进行地质勘查以获取目标地热岩层储层的资料;

根据所述目标地热岩层储层的资料钻取主井段,再下入生产套管并进行固井作业,所述主井段的深度达到所述目标地热岩层储层;

在主井段的井底和接近井底的所述生产套管的内壁面铺设绝热保温材料;

在主井段的下端进行侧向开窗再钻取至少一个水平井段,完钻以后下入尾管并进行固井作业;

将第一热管下入至所述水平井段中,第二热管下入至所述主井段中,所述第一热管的一端延伸至所述主井段能与所述第二热管的下端进行换热,所述第二热管的下端处于铺设的绝热保温材料处;

下入封隔器,对铺设绝热保温材料上方的所述第二热管与所述生产套管之间进行坐封;

在地面上安装地面热交换系统,使得地面热交换系统与所述第二热管的上端相连以进行换热。

8. 根据权利要求7所述的采用多分支径向水平井的地热资源开发方法,其特征在于,所述第二热管中设置有沿竖直方向延伸的内管,所述内管与所述第二热管的侧壁之间的内外管环空形成用于冷凝液体下流的下流通道;所述内管的内部形成用于气体上升的上升通道;所述内管外套设有第一绝热保温管;所述内管上安装有控制所述上升通道中气体流体的调节阀;

所述采用多分支径向水平井的地热资源开发方法还包括步骤:

在所述第二热管下入至所述主井段以后,向所述主井段的底部注入高导热工质,所述高导热工质淹没所述第二热管的下端以及所述第一热管伸至所述主井段的一端;

下入封隔器以后,在所述第二热管外套设第二绝热保温管。

9. 根据权利要求7所述的采用多分支径向水平井的地热资源开发方法,其特征在于,在地质勘查中,若热储区块中在竖直方向上同时存在多个地热岩层储层时,采用自上向下的开发利用方式,在开发上方的地热岩层储层时,通过封隔器将所述主井段中位于该开发的地热岩层储层以下部分进行分隔;当上方的地热岩层储层开发利用完成以后,继续采用相同的方法对更深一层的地热岩层储层进行开发利用。

采用多分支径向水平井的地热资源开发系统及其方法

技术领域

[0001] 本发明涉及地热能开发与利用领域,特别涉及一种采用多分支径向水平井的地热资源开发系统及其方法。

背景技术

[0002] 随着社会发展,我国对能源的需求量日益扩大。我国石油对外依存度逼近70%大关,天然气对外依存度也升至45.3%。能源安全关系到社会的稳定,所以在保证提高油气产能的同时需要大力发展其它能源勘探开发。2030年我国非化石能源比重预计需要提高到20%左右,我国计划到2020年实现非化石能源比重从12%提高到15%,而地热能源在此3%增长中占比1/3,因此,加快地热资源高效开发利用,对科学调整能源结构具有现实意义。

[0003] 地热资源具有地域分布广、资源量大、清洁环保和热能连续性好等优势,按照热储形式的不同,地热资源可以大致分为水热型、蒸汽型、干热岩、地压型和熔岩型等5种。其中浅层水热型地热资源和中深层干热岩型地热资源是研究的重点。水热型地热资源是以蒸气为主和以液态水为主的地热资源的统称。而干热岩(HDR)是指埋藏在地下10km以内温度超过200℃的高温岩体,岩体内部仅有少量流体存在。据统计,我国干热岩地热资源占全部地热资源的30%以上,其中,大陆3km至10km深处的干热岩资源量总计为 2.52×10^{25} J,折合 860×10^{12} t标准煤,例如只需2%的可采资源量即为2010年能源消耗总量的4400倍。

[0004] 目前开发地热资源方法多为双井地热系统,即在热储区块布置两口垂向方向上相互平行的井分别作为注入井和生产井,注入流体通过与井间压裂形成的宏观水平裂隙网络接触来获取热量。另一种方法为多分支井系统,它是在热储区块钻一口主井,然后在目的层段上下层面处侧钻多口水平径向井,将热流工质从井口泵入先后经油套环空、上部分支井、热储基质、下部分支井,最后从绝缘管内采出以获得热量。据先前研究,多分支水平径向井对同一热储开发效果要明显优于传统对井增强型地热系统,但多分支井系统依然依靠热流工质将热量携带出来,因此日常维护成本较高需要不断的驱动热流工质,另外,热流工质的传热效率有限,更无法在小温差下实现大热量的传输,且传输过程中能量损耗率较大。

发明内容

[0005] 为了克服现有技术的上述缺陷,本发明实施例所要解决的技术问题是提供了一种采用多分支径向水平井的地热资源开发系统及其方法,其能够有效提高传热效率,降低传输过程中的能量损耗率,更能够在小温差下实现大热量的传输。

[0006] 本发明实施例的具体技术方案是:

[0007] 一种采用多分支径向水平井的地热资源开发系统,所述多分支径向水平井地热资源开发系统包括:

[0008] 具有沿竖直方向趋势延伸的主井段,所述主井段的下端位于地热岩层储层;

[0009] 至少一个水平井段,所述水平井段开设在所述主井段的下端的侧壁上;

[0010] 热管单元,包括至少一个第一热管和第二热管,所述第一热管设置在所述水平井段中,所述第二热管设置在所述主井段中,所述第一热管的一端延伸至所述主井段与所述第二热管的下端进行换热;

[0011] 地面热交换系统,其包括用于与第二热管的上端进行热交换的地面换热装置、热交换装置和驱动泵,所述地面换热装置、所述热交换装置和所述驱动泵三者相联通形成循环管线。

[0012] 优选地,所述第二热管内设置有沿竖直方向延伸的内管,所述内管与所述第二热管的侧壁之间的内外管环空形成用于冷凝液体下流的下流通道;所述内管的内部形成用于气体上升的上升通道。

[0013] 优选地,所述内管外套设有第一绝热保温管。

[0014] 优选地,所述内管上安装有控制所述上升通道中气体流体的调节阀。

[0015] 优选地,所述第二热管的上端的外侧壁上设置有翅片;所述地面换热装置包裹住所述第二热管的上端,所述地面换热装置与所述第二热管的上端之间形成部分所述循环管线。

[0016] 优选地,所述多分支径向水平井地热资源开发系统还包括:设置所述第二热管的外侧壁与所述主井段的生产套管之间的封隔器,所述封隔器位于所述第一热管的一端与所述第二热管的下端进行换热处的上方;套设在所述第二热管外的第二绝热保温管,所述第二绝热保温管位于所述封隔器上方。

[0017] 优选地,所述多分支径向水平井地热资源开发系统还包括:设置在所述水平井段中的尾管,所述尾管采用高导热型水泥浆进行固井;设置在所述主井段中的生产套管,所述主井段的井底及井底的所述生产套管的内壁面处铺设绝热保温材料,所述第一热管延伸至所述主井段的一端的侧壁与绝热保温材料紧密接触以使所述封隔器、铺设的绝热保温材料和所述第一热管形成井底绝热空间;所述第一热管与尾管之间填充高导热工质;所述井底绝热空间中填充高导热工质以淹没所述第二热管的下端以及所述第一热管伸至所述主井段的一端。

[0018] 一种采用多分支径向水平井的地热资源开发方法,所述采用多分支径向水平井的地热资源开发方法包括以下步骤:

[0019] 对热储区块进行地质勘查以获取目标地热岩层储层的资料;

[0020] 根据所述目标地热岩层储层的资料钻取主井段,再下入生产套管并进行固井作业,所述主井段的深度达到目标地热岩层储层;

[0021] 在主井段的井底和接近井底的所述生产套管的内壁面铺设绝热保温材料;

[0022] 在主井段的下端进行侧向开窗再钻取至少一个水平井段,完钻以后下入尾管并进行固井作业;

[0023] 将第一热管下入至所述水平井段中,第二热管下入至所述主井段中,所述第一热管的一端延伸至所述主井段能与所述第二热管的下端进行换热,所述第二热管的下端处于铺设的绝热保温材料处;

[0024] 下入封隔器,对铺设绝热保温材料上方的所述第二热管与所述生产套管之间进行坐封;

[0025] 在地面上安装地面热交换系统,使得地面热交换系统与所述第二热管的上端相连

以进行换热。

[0026] 优选地,所述第二热管中设置有沿竖直方向延伸的内管,所述内管与所述第二热管的侧壁之间的内外管环空形成用于冷凝液体下流的下流通道;所述内管的内部形成用于气体上升的上升通道;所述内管外套设有第一绝热保温管;所述内管上安装有控制所述上升通道中气体流体的调节阀;

[0027] 所述采用多分支径向水平井的地热资源开发方法还包括步骤:

[0028] 在所述第二热管下入至所述主井段以后,向所述主井段的底部注入高导热工质,所述高导热工质淹没所述第二热管的下端以及所述第一热管伸至所述主井段的一端;

[0029] 下入封隔器以后,在所述第二热管外套设第二绝热保温管。

[0030] 优选地,在地质勘查中,若热储区块中在竖直方向上同时存在多个地热岩层储层时,采用自上向下的开发利用方式,在开发上方的地热岩层储层时,通过封隔器将所述主井段中位于该开发的地热岩层储层以下部分进行分隔;当上方的地热岩层储层开发利用完成以后,继续采用相同的方法对更深一层的地热岩层储层进行开发利用。

[0031] 本发明的技术方案具有以下显著有益效果:

[0032] 1、本申请中的地热资源开发系统在同一主井段可以布置多个水平井段,其有效了扩大井眼对储层的控制体积,使得开发程度更为均匀,此种开发方式热突破比常规方法小,对热储开发更为均匀,有利于延长热储开发寿命,发挥地热岩层目的储层的最大潜力。同时,在水平井段内设置有第一热管,第一热管的热阻极小,传热效果是普通金属的上千倍,可在小温差工况下实现水平井段中远离所述主井眼一端向靠近所述主井眼的另一端的大热量传输且传输过程能量损失小。第一热管将储层控制体积的热量向主井段汇聚以后,再通过第二热管将汇聚后的热量高效率、低损耗的向地面的热交换系统传输,通过地面热交换系统源源不断的将第二热管的热量传输出去。通过多分支径向水平井技术和热管技术相结合并充分发挥各自优势有利于科学、高效的实现对地热资源资源的开发。

[0033] 2、由于钻井成本占地热资源开发成本的一半以上,多分支径向水平井技术只需钻一口主井,侧钻水平井,成本要小于另钻一口主井成本,加之热管技术主要依靠热储基质热传导方式传热,对压裂改造技术需求较低,故资金投入要远小于常规双井系统。另外,热管借助自身相变传热,这种传热方式是在温差下自我实现的,井下换热过程无需外加动力,故日常维护成本低。

[0034] 3、常规的采热方法是直接开发地层热水取热或注入工质与地热岩层储层中的热储基质循环接触换热,若回灌不及时会造成地层下陷,若遇天然裂隙则会造成工质漏失,导致成本增大及污染地层水。而本申请中通过第一热管和第二热管的取热方式,工质始终在热管中的封闭环境中循环,不与地层直接接触,与热储基质只传递热量而无物质交换,因此避免了工质损失、管道结垢以及环境污染等问题。

[0035] 参照后文的说明和附图,详细公开了本发明的特定实施方式,指明了本发明的原理可以被采用的方式。应该理解,本发明的实施方式在范围上并不因而受到限制。在所附权利要求的精神和条款的范围内,本发明的实施方式包括许多改变、修改和等同。针对一种实施方式描述和/或示出的特征可以以相同或类似的方式在一个或多个其它实施方式中使用,与其它实施方式中的特征相组合,或替代其它实施方式中的特征。

附图说明

[0036] 在此描述的附图仅用于解释目的,而不意图以任何方式来限制本发明公开的范围。另外,图中的各部件的形状和比例尺寸等仅为示意性的,用于帮助对本发明的理解,并不是具体限定本发明各部件的形状和比例尺寸。本领域的技术人员在本发明的教导下,可以根据具体情况选择各种可能的形状和比例尺寸来实施本发明。

[0037] 图1为本发明实施例中采用多分支径向水平井的地热资源开发系统的结构示意图;

[0038] 图2为本发明实施例中热管单元的整体结构图;

[0039] 图3为本发明实施例中热管单元中的第二热管的绝热段横截面示意图;

[0040] 图4为本发明实施例中热管单元中第一热管的蒸发段横截面示意图。

[0041] 以上附图的附图标记:

[0042] 1、普通水泥浆;2、表层套管;3、生产套管;4、第一绝热保温管;5、上覆非渗透层;6、地热岩层储层;7、水平井段;8、第一热管;9、下部非渗透层;10、工质流出管段;11、热交换装置;12、工质流入管段;13、驱动泵;14、第二热管;15、封隔器;16、第一热管冷凝段;17、绝热保温材料;18、井底绝热空间;19、上升通道;20、第二绝热保温管;21、内管;22、下流通道;24、翅片;25、第二热管冷凝段;26、第二热管绝热段;27、调节阀;28、第二热管蒸发段;29、温度传感器;30、地面换热装置;31、第一热管蒸发段;32、尾管;33、高导热型水泥浆;34、热储基质;35、槽道吸液芯;36、连接通道;37、气体流动通道;38、第一热管与尾管环空;39、主井段。

具体实施方式

[0043] 结合附图和本发明具体实施方式的描述,能够更加清楚地了解本发明的细节。但是,在此描述的本发明的具体实施方式,仅用于解释本发明的目的,而不能以任何方式理解成是对本发明的限制。在本发明的教导下,技术人员可以构想基于本发明的任意可能的变形,这些都应被视为属于本发明的范围。需要说明的是,当元件被称为“设置于”另一个元件,它可以直接在另一个元件上或者也可以存在居中的元件。当一个元件被认为是“连接”另一个元件,它可以是直接连接到另一个元件或者可能同时存在居中元件。术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是机械连接或电连接,也可以是两个元件内部的连通,可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语的具体含义。本文所使用的术语“垂直的”、“水平的”、“上”、“下”、“左”、“右”以及类似的表述只是为了说明的目的,并不表示是唯一的实施方式。

[0044] 除非另有定义,本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本申请的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本申请的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施方式的目的,不是旨在于限制本申请。本文所使用的术语“和/或”包括一个或多个相关的所列项目的任意的和所有的组合。

[0045] 为了能够有效提高传热效率,降低传输过程中的能量损耗率,更能够在小温差下实现大热量的传输,在本申请中提出了一种多分支径向水平井地热资源开发系统,图1为本发明实施例中采用多分支径向水平井的地热资源开发系统的结构示意图,图2为本发明实施例中热管单元的整体结构图,图3为本发明实施例中热管单元中的第二热管绝热段横截

面示意图,如图1至图3所示,多分支径向水平井地热资源开发系统可以包括:具有沿竖直方向趋势延伸的主井段39,主井段39的下端位于地热岩层储层6;至少一个水平井段7,水平井段7开设在主井段39的下端的侧壁上;热管单元,包括至少一个第一热管8和第二热管14,第一热管8设置在水平井段7中,第二热管14设置在主井段39中,第一热管8的一端延伸至主井段39与第二热管14的下端进行换热;地面热交换系统,其包括用于与第二热管14的上端进行热交换的地面换热装置30、热交换装置11和驱动泵13,地面换热装置30、热交换装置11和驱动泵13三者相连通形成循环管线。

[0046] 本申请中的地热资源开发系统在同一主井段39可以布置多个水平井段7,其有效了扩大井眼对储层的控制体积,使得开发程度更为均匀,此种开发方式热突破比常规方法小,对热储开发更为均匀,有利于延长热储开发寿命,发挥地热岩层储层的最大潜力。同时,在水平井段7内设置有第一热管8,第一热管8的热阻极小,传热效果是普通金属的上千倍,可在小温差工况下实现水平井段7中远离主井眼一端向靠近主井眼的另一端的大热量传输且传输过程能量损失小。第一热管8将储层控制体积的热量向主井段39汇聚以后,再通过第二热管14将汇聚后的热量高效率、低损耗的向地面的热交换系统传输,通过地面热交换系统源源不断的将第二热管14的热量传输出去。通过多分支径向水平井技术和热管技术相结合并充分发挥各自优势有利于科学、高效的实现对地热资源的开发。

[0047] 由于钻井成本占地热资源开发成本的一半以上,多分支径向水平井技术只需钻一口主井,侧钻水平井,成本要小于另钻一口主井成本,加之热管技术主要依靠热储基质34热传导方式传热,对压裂改造技术需求较低,故资金投入要远小于常规双井系统。另外,热管借助自身相变传热,这种传热方式是在温差下自我实现的,井下换热过程无需外加动力,故日常维护成本低。

[0048] 常规的采热方法是直接开发地层热水取热或注入工质与地热岩层储层6中的热储基质34循环接触换热,若回灌不及时会造成地层下陷,若遇天然裂隙则会造成工质漏失,导致成本增大及污染地层水。而本申请中通过第一热管8和第二热管14的取热方式,工质始终在热管中的封闭环境中循环,不与地层直接接触,与热储基质34只传递热量而无物质交换,因此避免了工质损失、管道结垢以及环境污染等问题。

[0049] 为了能够更好的理解本申请中的多分支径向水平井地热资源开发系统,下面将对其做进一步解释和说明。如图1所示,多分支径向水平井地热资源开发系统可以包括:主井段39、至少一个水平井段7、热管单元以及地面热交换系统。其中,主井段39沿竖直方向趋势延伸,其可以完全沿竖直方向延伸,其也可以与竖直方向具有一定的角度。主井段39的深度需要达到目的地热岩层储层,例如主井段39的深度可以达到地热岩层储层中深位置以上10m至20m左右。主井段39底部位置距目的地热岩层储层6中深位置垂向距离可以视钻完井技术和实际工况所定,只需保证后经造斜各水平井段7位于目的地热岩层储层6中深位置即可。主井段39可适当倾斜一定角度,具体根据实际施工环境和施工技术决定,只需不影响第二热管14正常使用即可。

[0050] 主井段39的开井段设置有表层套管2,并采用普通水泥浆1进行固井。主井段39的其它部分设置有生产套管3,并可以采用普通水泥浆1进行固定。优选地,可以采用保温型水泥浆固井,保温型水泥浆导热系数应小于 $0.3\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$,以避免第二热管14受到主井段39井筒周围地层的影响。

[0051] 如图1所示,水平井段7开设在主井段39的下端的侧壁上。水平井段7可以是一个,也可以是多个。当水平井段7为多个时,其绕主井段39呈周向分布,优选的可以是均匀分布。水平井段7可通过在主井段39的下端进行侧向开窗,再利用造斜工具造斜,采用径向喷射钻井技术(RJD)或微孔螺旋管钻井技术(CT)钻取一口分支径向水平井眼而形成。采用径向喷射钻井技术(RJD)或微孔螺旋管钻井技术(CT)可实现侧钻多分支水平井。水平井段7位于目的地热岩层储层6的中深位置水平平面内,水平段长度可以在100m至2000m内,直径可以在0.05m至0.08m左右,具体长度和直径由地热岩层区块具体尺寸决定。当水平井段7为四个时,可以利用相同方法,互成90°钻取另外三口分支径向水平井眼而形成另外三个水平井段7。

[0052] 如图1所示,热管单元可以包括至少一个第一热管8和第二热管14。一个第一热管8设置在一个水平井段7中。多分支径向水平井地热资源开发系统可以包括:设置在水平井段7中的尾管32,图4为本发明实施例中热管单元中第一热管的蒸发段横截面示意图,如图4所示,尾管32采用高导热型水泥浆33进行固井,该高导热性水泥浆的导热系数大于 $30\text{W/m}\cdot\text{K}$ 。通过上述方式可以使得地热岩层储层6中的热量向尾管32内部进行传递的效率大幅提升,有利于周围地层与第一热管8进行热交换。同时为了提高该热量向第一热管8传递效率,在第一热管8与尾管32之间填充有高导热工质。

[0053] 如图1至图3所示,第二热管14沿竖直方向设置在主井段39中,第一热管8的一端(第一热管冷凝段16)延伸至主井段39与第二热管14的下端(第二热管蒸发段28)进行换热。主井段39的井底及井底的生产套管3的内壁面处可以铺设有绝热保温材料17,第一热管8延伸至主井段39的一端的侧壁与绝热保温材料17紧密接触以使封隔器15、铺设的绝热保温材料17和第一热管8形成井底绝热空间18。

[0054] 如图1所示,多分支径向水平井地热资源开发系统可以包括:设置第二热管14的外侧壁与主井段39的生产套管3之间的封隔器15,封隔器15位于第一热管8的一端与第二热管14的下端进行换热处的上方。通过该封隔器15可以使得井底绝热空间18呈一个接近于封闭的空间,如此保证第一热管8向第二热管14进行传热的效率,防止第一热管8向第二热管14输出的热量在此通过主井段39的侧壁向外耗散。铺设绝热保温材料17时应保证为第二热管14的下端和各水平井段7内的第一热管8靠近主井段39的一端的放置保留足够空间,在设置封隔器15之前,井底绝热空间18可冲填高导热工质以促进第一热管8向第二热管14进行换热,填充的高导热工质可以淹没第二热管14的下端以及第一热管8伸至主井段39的一端。

[0055] 如图1所示,在第二热管14外可以套设第二绝热保温管20,第二绝热保温管20位于封隔器15上方。当热量通过第二热管14向上进行输送时,第二绝热保温管20可以减少热量从第二热管14的中部通过生产套管3向外耗散。第二绝热保温管20位于第二热管绝热段26,即第二热管冷凝段25与第二热管蒸发段28之间部分。

[0056] 如图1和图2所示,地面热交换系统可以包括用于与第二热管14的上端(第二热管冷凝段25)进行热交换的地面换热装置30、热交换装置11和驱动泵13,地面换热装置30、热交换装置11和驱动泵13三者相连通形成循环管线。循环管线中充满换热工质。具体而言,热交换装置11的一端通过工质流出管段10与地面换热装置30相连通,热交换装置11的另一端通过工质流入管段12与地面换热装置30相连通。驱动泵13可以安装在工质流出管段10或工质流入管段12上。第二热管14的上端的外侧壁上可以设置有翅片24;第二热管14的上端可

以呈部分球形,地面换热装置30包裹住第二热管14的上端,地面换热装置30与第二热管14的上端之间形成部分循环管线。通过上述方式可以增加换热面积,进而增大第二热管14的上端与循环管线中换热工质的换热效率。

[0057] 热管技术在散热及热传导过程中应用广泛。热管由管壳、吸液芯和端盖组成,将内管21抽成 $1.3 \times (10^{-1}-10^{-4})$ Pa负压后充以适量工作液体,热管两端分别为蒸发段(加热段)和冷凝段(冷却段),两段中间可根据具体要求选择是否布置绝热段。在本申请中,由于第一热管8沿水平方向延伸,因此,第一热管8可以优先选择带吸液芯轴向热管。带吸液芯轴向热管工作原理为:紧贴内管21壁吸液芯毛细多孔材料中充满液体后加以密封,蒸发段一端吸液芯中液体受热蒸发汽化到管芯无吸液芯处,由于蒸发段蒸汽压力高于冷凝段平衡气体压力,蒸汽在微小压差下沿管流向冷凝段放出热量凝结成液体,液体再沿毛细多孔材料靠毛细力作用流回至蒸发段,如此循环,将该热管水平放置可实现水平方向传热。

[0058] 在一种可行的实施方式中,如图4所示,带吸液芯轴向热管可以选取带有槽道的吸液芯热管,该槽道可以呈 Ω 型,因其价格低廉,工艺简单,热阻较小,可以满足本发明需要。如图4所示,在带吸液芯的第一热管蒸发段31(即远离第二热管14的一端)外壁面处可以安装有翅片24来增加第一热管8与地层换热面积。根据地热岩层储层6的岩石基质初始温度不同,可选择不同工质和热管充液率,考虑到我国地热储层岩石温度在300K-550K范围内,故常第一热管8内使用的工质流体可以有丙酮(工作温度273K-400K),甲醇(工作温度283K-410K),乙醇(工作温度273K-410K),水(工作温度303K-500K)和导热姆A(工作温度420K-620K)等等,具体工质和充液率根据实际情况选取。

[0059] 在本申请中,由于第二热管14大体沿垂直方向延伸,因此,第二热管14可以优先选择重力热管。重力热管工作原理为:热管蒸发段液体受热蒸发带走热量,经绝热段流向冷凝段,遇冷凝结成液体,后受重力作用再回流到蒸发段,该热管可实现垂直方向传热。第二热管14内使用的工质流体可以与第一热管8相同。

[0060] 在一种可行的实施方式中,考虑到常规的重力热管气体上升阻力较大,在此可以对其进行改进。如图2和图3所示,在第二热管14内设置沿垂直方向延伸的内管21,内管21与第二热管14的侧壁之间的内外管环空形成用于冷凝液体下流的下流通道22;内管21的内部形成用于气体上升的上升通道19。这样以后,蒸发的气体从第二热管14下端即蒸发段经内管21从绝热段流向第二热管14上端冷凝段,在冷凝段遇冷凝结后经内外管环空形成的下流通道22在重力作用下回流到蒸发段,实现循环,此改进可使上流的气体和下流的液体相分离,防止其接触换热,从而提高换热效率。为了加强内管21的隔热效果,进一步提高换热效率,内管21外可以套设有第一绝热保温管4,也是可以在内管21外涂设绝热保温材料17。

[0061] 在一种可行的实施方式中,如图2所示,内管21上安装有控制上升通道19中气流体的调节阀27。调节阀27可以设置在内管21的下端处。通过调节调节阀27的开度可以控制第二热管14中向上流动的气体的流量,从而达到调节第二热管14的传热量,进而达到控制取热量的目的。

[0062] 在一种可行的实施方式中,在井底绝热空间18内可以安装一温度传感器29,实时记录数据,便于了解热储生产能力进而科学制定生产计划。

[0063] 本申请中还提出了一种采用多分支径向水平井的地热资源开发方法,采用多分支径向水平井的地热资源开发方法包括以下步骤:

[0064] S101:对热储区块进行地质勘查以获取目标地热岩层储层6的资料。

[0065] 对热储区块进行地质勘查,确定目标地热岩层储层6的面积和厚度。

[0066] S102:根据目标地热岩层储层6的资料钻取主井段39,再下入生产套管3并进行固井作业,主井段39的深度达到目标地热岩层储层6。

[0067] 根据地质勘探资料,确定主井段39的井点位置和目的地热岩层段,并将目的地热岩层段自上而下依次划分为上覆非渗透层5、目的地热岩层储层6和下部非渗透层9。根据区块地质资料,设计井身结构,利用钻头钻取主井段39的第一开井段,下入表层套管2,并采用普通水泥浆1固井。利用小一级尺寸的钻头钻取主井段39第二开井段,钻进过程穿透上覆非渗透层5,直至目的地热岩层储层6中深位置以上10m-20m位置处停钻。完钻后下入生产套管3并注水泥浆固井。优选地,可以采用保温型水泥浆固井,保温型水泥浆导热系数应小于 $0.3W/m \cdot K$,以避免第二热管14受到主井段39井筒周围地层的影响。

[0068] S103:在主井段39的井底和接近井底的生产套管3的内壁面铺设绝热保温材料17。

[0069] S104:在主井段39的下端进行侧向开窗再钻取至少一个水平井段7,完钻以后下入尾管32并进行固井作业。

[0070] 在本步骤中,在距主井段39井底一定距离左右位置进行侧向开窗,例如10m左右,然后利用造斜工具造斜,采用径向喷射钻井技术(RJD)或微孔螺旋管钻井技术(CT)钻取一口分支径向水平井眼以形成一个水平井段7。水平井段7位于目的地热岩层储层6的中深位置水平平面内,若需要多个水平井段7,则利用相同方法,钻取其它多口分支径向水平井眼,以形成多个水平井段7。完钻后在水平井段7下入尾管32并注水泥浆固井。优选地,尾管32可以采用高导热型水泥浆33进行固井。

[0071] S105:将第一热管8下入至水平井段7中,第二热管14下入至主井段39中,第一热管8的一端延伸至主井段39能与第二热管14的下端进行换热,第二热管14的下端处于铺设的绝热保温材料17处。

[0072] 在上述步骤中,如图4所示,在第一热管8和尾管32之间可以填充高导热工质促进换热。同时,第一热管8靠近第二热管14的一端即冷凝段处于主井段39井底处并与已铺设绝热保温材料17紧密接触,从而后期可以使得述封隔器15、铺设的绝热保温材料17和第一热管8形成井底绝热空间18。第二热管14的下端处于主井段39的井底已铺设绝热保温材料17处,使其上端即冷凝段位于地表以上,在其绝热段应包裹保温层用于绝热。

[0073] 在第二热管14下入至主井段39中时,可以将温度传感器29安装在第二热管14的下端即蒸发段上,再将第二热管14下入到主井段39中。

[0074] 在一种优先的方式中,在第二热管14下入至主井段39以后,向主井段39的底部注入高导热工质,高导热工质淹没第二热管14的下端以及第一热管8伸至主井段39的一端。

[0075] S106:下入封隔器15,对铺设绝热保温材料17上方的第二热管14与生产套管3之间进行坐封。

[0076] 通过上述步骤,第二热管14的蒸发段和各水平井段7中的第一热管8的冷凝段处于封闭的绝热空间内。

[0077] 在下入封隔器15以后,可以第二热管14外套设第二绝热保温管20,第二绝热保温管20位于封隔器15的上方。第二绝热保温管20位于第二热管14与生产套管3之间,其用于减少第二热管14与主井井筒周围地层换热。

[0078] S107:在地面上安装地面热交换系统,使得地面热交换系统与第二热管14的上端相连以进行换热。

[0079] 在本步骤中,在地面安装主井井口,并将地面换热装置30与第二热管14的上端即冷凝段相连以换热,同时将热交换装置11和驱动泵13连接,进而在地面形成封闭的取热换热系统。

[0080] 在地质勘查中,若热储区块中在垂直方向上同时存在多个地热岩层储层6时,采用自上向下的开发利用方主井段39中位于该开发的地热岩层储层6以下部分进行分隔;当上方的地热岩层储层6开发利用完成以后,继续采用相同的方法对更深一层的地热岩层储层6进行开发利用。

[0081] 当采用多分支径向水平井的地热资源开发方法搭建的开发系统投入工作后,地热岩层储层中的热储基质34的热量依次经高导热型水泥浆33,水平井段7中的尾管32,第一热管与尾管环空38中的高导热工质后与第一热管8吸液芯中的工质进行换热,在这一过程中第一热管蒸发段31外壁上的翅片24增大了换热面积,型槽道吸液芯35中的工质受热蒸发经连接通道36汽化到第一热管8的气体流动通道37,然后在该通道中沿水平方向流向带吸液芯的第一热管8的冷凝段,气体与井底封闭绝热空间中高导热工质换热后冷凝成液体,液体再沿吸液芯中的毛细多孔材料靠毛细力作用沿水平方向流回蒸发段,如此循环。井底绝热空间18中高导热工质将热量传递给第二热管14的下端蒸发段,蒸发段工质受热蒸发汽化,经调节阀27、上升通道19,上升到第二热管14的上端冷凝段,气体与地面换热装置30换热后冷凝成液体,液体受重力作用经第二热管14内外管环空形成的下流通道22,液体流回第二热管14的蒸发段,如此循环。在此过程中第二热管14中的内管21外壁上的第一绝热保温管4可以有效阻止上升气体和下流冷凝液体换热。另外,第二热管14中的内管21伸入第二热管14的冷凝段一段高度以及冷凝段设计为圆球状,故冷凝液体不会经第二热管14的上升通道19返回到蒸发段,因此液体不会占用上升通道19,也可以减少气体和液体之间的相互换热。地面热交换系统中的换热工质在地面换热装置30获得热量后,经工质流出管段10,换热工质在热交换装置11处为外界进行供热,温度下降后的换热工质受驱动泵13再次加压经工质流入管段12重新进入地面换热装置30获取热量,如此循环。

[0082] 本申请将多分支径向水平井技术和热管技术引用到地热资源开发中,发挥多分支径向水平井技术钻井成本低、开发方式均匀高效、有效延长热储开发寿命和热管技术对地层无污染、无需外加动力、热阻小、传热效率高的优势,进而实现地热资源的有效开发利用,能够有效推动我国地热能行业的快速发展。

[0083] 披露的所有文章和参考资料,包括专利申请书和出版物,出于各种目的通过援引结合于此。描述组合的术语“基本由...构成”应该包括所确定的元件、成分、部件或步骤以及实质上没有影响该组合的基本新颖特征的其他元件、成分、部件或步骤。使用术语“包含”或“包括”来描述这里的元件、成分、部件或步骤的组合也想到了基本由这些元件、成分、部件或步骤构成的实施方式。这里通过使用术语“可以”,旨在说明“可以”包括的所描述的任何属性都是可选的。多个元件、成分、部件或步骤能够由单个集成元件、成分、部件或步骤来提供。另选地,单个集成元件、成分、部件或步骤可以被成分分离的多个元件、成分、部件或步骤。用来描述元件、成分、部件或步骤的公开“一”或“一个”并不说为了排除其他的元件、成分、部件或步骤。

[0084] 本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可。上述实施例只为说明本发明的技术构思及特点,其目的在于让熟悉此项技术的人士能够了解本发明的内容并据以实施,并不能以此限制本发明的保护范围。凡根据本发明精神实质所作的等效变化或修饰,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

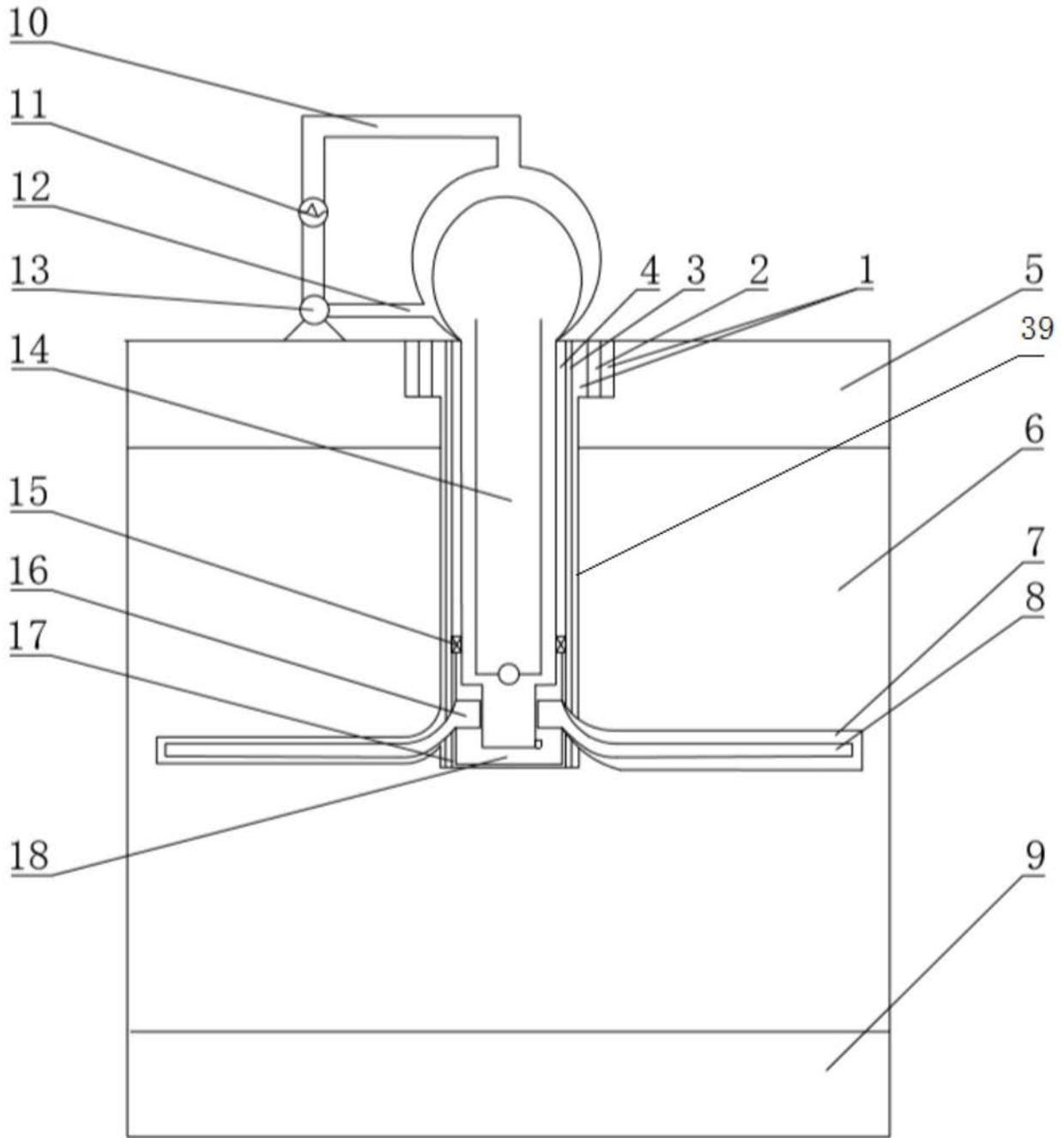


图1

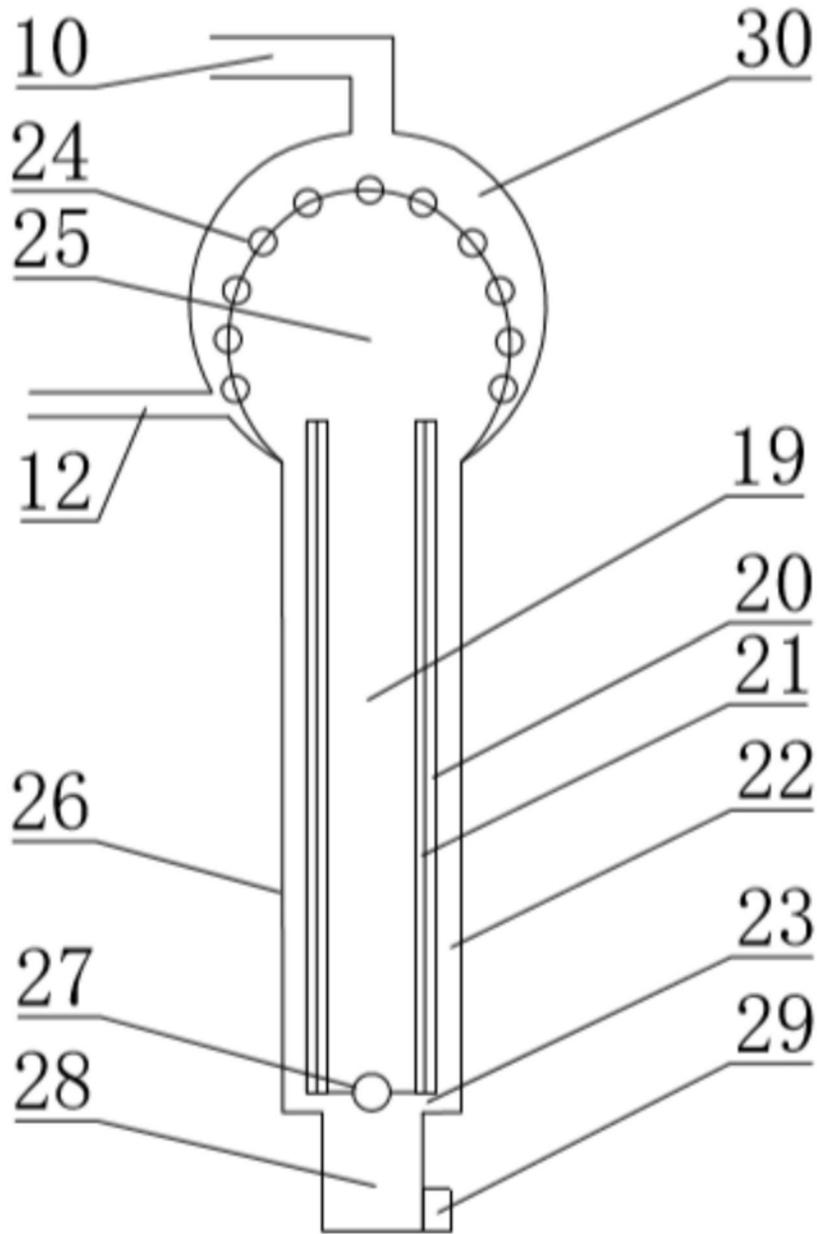


图2

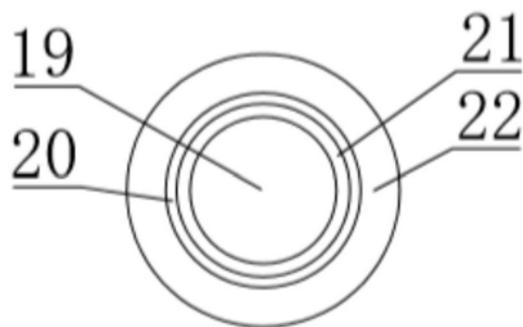


图3

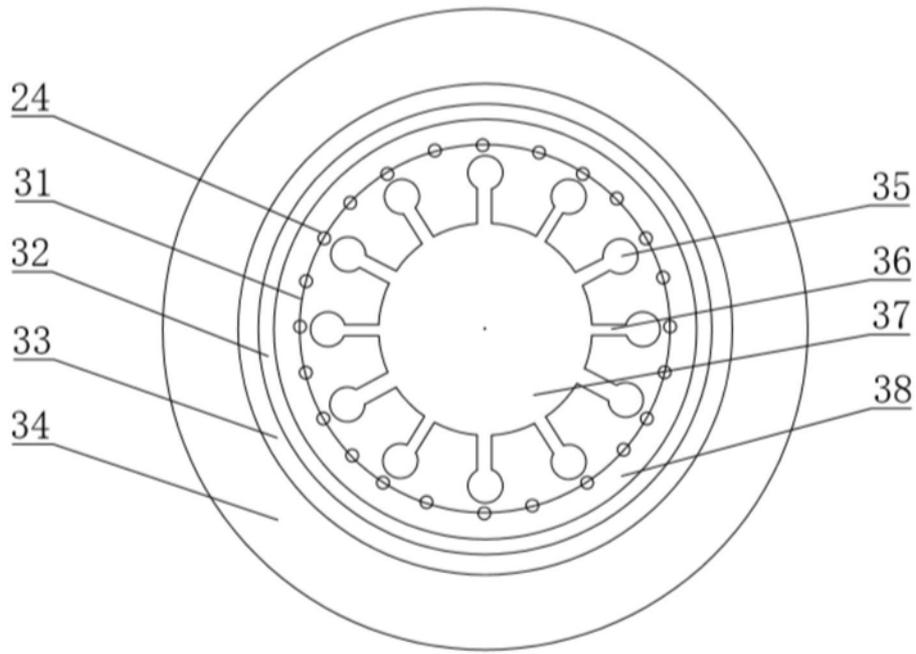


图4