



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110030859 B

(45) 授权公告日 2024. 10. 29

(21) 申请号 201910383468.6

(22) 申请日 2019.05.09

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110030859 A

(43) 申请公布日 2019.07.19

(73) 专利权人 南京工业大学
地址 211800 江苏省南京市浦口区浦珠南
路30号

(72) 发明人 陶汉中 李维 程建杰

(74) 专利代理机构 国浩律师(南京)事务所
32284

专利代理师 许峰

(51) Int. Cl.

F28D 15/04 (2006.01)

G21C 15/14 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 103440887 A, 2013.12.11

CN 102072682 A, 2011.05.25

CN 209857708 U, 2019.12.27

CN 108847292 A, 2018.11.20

WO 2015059672 A1, 2015.04.30

审查员 武利媛

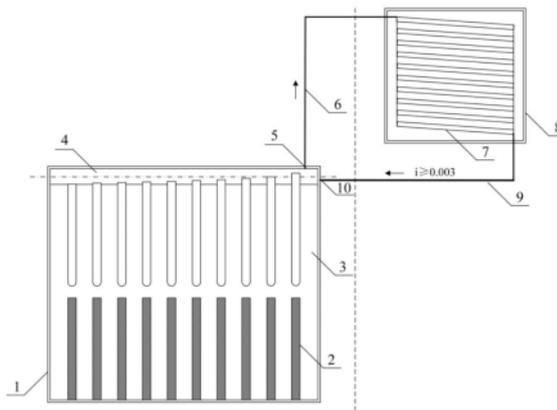
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

用于乏燃料池的非能动旗型热管换热器及乏燃料池装置

(57) 摘要

本发明公开了一种用于乏燃料池的非能动旗型热管换热器及乏燃料池,实现了热量非能动高效传递,在传热上,可根据乏燃料池中的热负荷变化做出适应性调节,避免乏燃料池中的衰变热无法有效导出。所述旗型热管换热器包括热管蒸发端、集气和布液箱、上升管、热管冷凝端、冷凝器、下降管、热管接入口,以及设置在集气和布液箱上的集气出口和布液进口;热管冷凝端位于冷凝器中;热管蒸发端和集气和布液箱连接,热管蒸发端的出口和热管接入口连接,热管接入口位于集气和布液箱内腔中,集气和布液箱的集气出口与上升管的进口连接,上升管的出口与热管冷凝端的进口连接,热管冷凝端的出口与下降管的进口连接,下降管的出口与集气和布液箱的布液进口连接。



1. 一种用于乏燃料池的非能动旗型热管换热器,其特征在于:包括热管蒸发端(3)、集气和布液箱(4)、上升管(6)、热管冷凝端(7)、冷凝器(8)、下降管(9)、热管接入口(11),以及设置在集气和布液箱(4)上的集气出口(5)和布液进口(10);热管冷凝端(7)位于冷凝器(8)中;

热管蒸发端(3)和集气和布液箱(4)连接,热管蒸发端(3)的出口和热管接入口(11)连接,热管接入口(11)位于集气和布液箱(4)内腔中,集气和布液箱(4)的集气出口(5)与上升管(6)的进口连接,上升管(6)的出口与热管冷凝端(7)的进口连接,热管冷凝端(7)的出口与下降管(9)的进口连接,下降管(9)的出口与集气和布液箱(4)的布液进口(10)连接;

所述的热管蒸发端(3)为 n 个,热管接入口(11)为 n 个,且热管蒸发端(3)和热管接入口(11)一一对应设置; n 为大于1的整数;所述的 n 个热管接入口(11)在集气和布液箱(4)中的高度不同,热管换热器的运行根据乏燃料池的负荷变化作出相应的调节;

所述的 n 个热管接入口(11)在集气和布液箱(4)中的高度沿水平方向,从靠近布液进口(10)向远离布液进口(10),依次增加;

所述旗型热管换热器内的工质从冷凝端以冷凝液回至集气和布液箱;由于多根热管蒸发端的在集气和分液箱中接入口高度不同,因此进入热管蒸发端的冷凝液体的量不同;在传热性能上,旗型热管换热器能够根据乏燃料池中的热负荷变化做出适当调节,避免了乏燃料池中的衰变热无法有效导出,达到乏燃料池内水不沸腾的目的;

所述的集气出口(5)位于集气和布液箱(4)的上部,布液进口(10)位于集气和布液箱(4)的下部。

2. 按照权利要求1所述的用于乏燃料池的非能动旗型热管换热器,其特征在于:所述热管冷凝端(7)从热管冷凝端(7)入口到出口方向,向下倾斜;所述下降管(9)从下降管(9)入口到出口方向,向下倾斜。

3. 按照权利要求1所述的用于乏燃料池的非能动旗型热管换热器,其特征在于:所述热管蒸发端(3)内壁为多孔介质的重力辅助热管,热管蒸发端(3)的蒸发为多孔介质中的薄膜蒸发。

4. 按照权利要求3所述的用于乏燃料池的非能动旗型热管换热器,其特征在于:所述多孔介质结构为丝网型、烧结型或者沟槽型。

5. 按照权利要求4所述的用于乏燃料池的非能动旗型热管换热器,其特征在于:所述热管蒸发端(3)中的工作介质为水。

6. 一种设有权利要求1—5中任何一项所述的非能动旗型热管换热器的乏燃料池装置,其特征在于,包括乏燃料池(1)、乏燃料棒(2)、包括热管蒸发端(3)、集气和布液箱(4)、上升管(6)、热管冷凝端(7)、冷凝器(8)、下降管(9)、热管接入口(11),以及设置在集气和布液箱(4)上的集气出口(5)和布液进口(10);乏燃料棒(2)固定在乏燃料池(1)的底部,热管蒸发端(3)位于乏燃料棒(2)上端,集气和布液箱(4)固定在乏燃料池(1)的顶部。

用于乏燃料池的非能动旗型热管换热器及乏燃料池装置

技术领域

[0001] 本发明属于核动力高性能传热研究领域,具体来说,涉及一种用于乏燃料池的非能动旗型热管换热器及乏燃料池装置。

背景技术

[0002] 在乏燃料池中,乏燃料棒持续释放热量,必须对其进行有效的冷却。正常运行时,乏燃料池冷却系统是通过冷却水泵将乏燃料池中的热水吸出,经过冷却后再返回乏燃料池。若发生全厂断电事故,短时间内应急电源无法有效补充或冷却系统失效,乏燃料池中的衰变热无法有效导出,池水温度将会上升直至沸腾。这不仅产生大量蒸汽,而且乏燃料池中水位的不断下降会造成燃料包壳裸露,放射性释放。

[0003] 目前,将热管应用于核电站乏燃料水池的事故后冷却,工程上还没有提出过可行方案。尤其是针对热管工作过程中内部工质的流动与传热机理、热管换热器的设计计算和热管换热器在核动力方面的应用仍有许多不足。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是:提供一种用于乏燃料池的非能动旗型热管换热器及乏燃料池装置,实现了热量非能动高效传递,在传热性能上,可根据乏燃料池中的热负荷变化做出适应性调节,避免了乏燃料池中的衰变热无法有效导出。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明实施例采用以下技术方案:

[0006] 一方面,本发明实施例一种用于乏燃料池的非能动旗型热管换热器,包括热管蒸发端、集气和布液箱、上升管、热管冷凝端、冷凝器、下降管、热管接入口,以及设置在集气和布液箱上的集气出口和布液进口;热管冷凝端位于冷凝器中;热管蒸发端和集气和布液箱连接,热管蒸发端的出口和热管接入口连接,热管接入口位于集气和布液箱内腔中,集气和布液箱的集气出口与上升管的进口连接,上升管的出口与热管冷凝端的进口连接,热管冷凝端的出口与下降管的进口连接,下降管的出口与集气和布液箱的布液进口连接。

[0007] 作为优选例,所述的集气出口位于集气和布液箱的上部,布液进口位于集气和布液箱的下部。

[0008] 作为优选例,所述的热管蒸发端为 n 个,热管接入口为 n 个,且热管蒸发端热管接入口一一对应设置; n 为大于1的整数。

[0009] 作为优选例,所述的 n 个热管接入口在集气和布液箱中的高度不同。

[0010] 作为优选例,所述的 n 个热管接入口在集气和布液箱中的高度沿水平方向依次增加或减少。

[0011] 作为优选例,所述热管冷凝端从热管冷凝端入口到出口方向,向下倾斜;所述下降管从下降管入口到出口方向,向下倾斜。

[0012] 作为优选例,所述热管蒸发端内壁为多孔介质的重力辅助热管,热管蒸发端的蒸发为多孔介质中的薄膜蒸发。

[0013] 作为优选例,所述多孔介质结构为丝网型、烧结型或者沟槽型。

[0014] 作为优选例,所述热管蒸发端中的工作介质为水。

[0015] 另一方面,本发明实施例提供一种乏燃料池装置,包括乏燃料池、乏燃料棒、包括热管蒸发端、集气和布液箱、上升管、热管冷凝端、冷凝器、下降管、热管接入口,以及设置在集气和布液箱上的集气出口和布液进口;乏燃料棒固定在乏燃料池的底部,热管蒸发端位于乏燃料棒上端,集气和布液箱固定在乏燃料池的顶部。

[0016] 与现有技术相比,本发明实施例的用于乏燃料池的非能动旗型热管换热器及乏燃料池装置,实现了热量非能动高效传递,在传热性能上,可根据乏燃料池中的热负荷变化做出适应性调节,避免了乏燃料池中的衰变热无法有效导出。该实施例的非能动旗型热管换热器,将乏燃料池中的流体作为热管蒸发端的热源,外部空气作为热管冷凝端的热阱,应用热管内部工质相变和连续循环,以及集气和布液箱内分液回流产生的高效循环,实现了热量非能动高效传递,且在传热性能上,旗型热管换热器能够根据乏燃料池中的热负荷变化做出适当调节,避免了乏燃料池中的衰变热无法有效导出,节约了常规冷却水系统水量和电量,从而直接对乏燃料冷却系统换热设备进行了优化。

附图说明

[0017] 图1为本发明实施例的结构示意图;

[0018] 图2为本发明实施例中集气和分液箱的局部示意图;

[0019] 图3为本发明实施例中的热管蒸发端的局部示意图。

[0020] 图中有:1.乏燃料池,2.乏燃料棒,3.热管蒸发端,3-1.第一热管蒸发端,3-2.第二热管蒸发端,3-3.第三热管蒸发端,3-4.第四热管蒸发端,3-5.第五热管蒸发端,3-6.第六热管蒸发端,3-7.第七热管蒸发端,3-8.第八热管蒸发端,3-9.第九热管蒸发端,3-10.第十热管蒸发端,4.集气和布液箱,5.集气出口,6.上升管,7.热管冷凝端,8.冷凝器,9.下降管,10.布液进口,11.热管接入口,11-1.第一热管接入口,11-2.第二热管接入口,11-3.第三热管接入口,11-4.第四热管接入口,11-5.第五热管接入口,11-6.第六热管接入口,11-7.第七热管接入口,11-8.第八热管接入口,11-9.第九热管接入口,11-10.第十热管接入口。

具体实施方式

[0021] 下面结合附图,对本发明的技术方案进行详细的说明。

[0022] 如图1所示,本发明实施例的一种用于乏燃料池的非能动旗型热管换热器,其特征在于:包括热管蒸发端3、集气和布液箱4、上升管6、热管冷凝端7、冷凝器8、下降管9、热管接入口11,以及设置在集气和布液箱4上的集气出口5和布液进口10;热管冷凝端7位于冷凝器8中。热管蒸发端3和集气和布液箱4连接,热管蒸发端3的出口和热管接入口11连接,热管接入口11位于集气和布液箱4内腔中,集气和布液箱4的集气出口5与上升管6的进口连接,上升管6的出口与热管冷凝端7的进口连接,热管冷凝端7的出口与下降管9的进口连接,下降管9的出口与集气和布液箱4的布液进口10连接。

[0023] 上述实施例中,冷凝器7中的冷却介质和热管冷凝端6通过对流传热进行换热后,热管冷凝端6放出热量,冷却介质将热量带走。所述热管蒸发端3中的工作介质为水。该实施

例中,热管蒸发端3中的液体工质回流是由集气和布液箱4分液后流入的。集气和布液箱4对从下降管9流入集气和布液箱4中的液体工质,重新进行分液。这能根据乏燃料池复核变化,调节蒸发端的能力,并保证每个蒸发端形成薄膜蒸发,传热效果好。

[0024] 作为优选例,所述的集气出口5位于集气和布液箱4的上部,布液进口10位于集气和布液箱4的下部。由于从热管蒸发端3流出的气体向上移动,所以将集气出口5设置在集气和布液箱4的上部,利于气体流入上升管6。气体经过热管冷凝端7冷凝后,又变为液态。将布液进口10设置在集气和布液箱4的下部,利于从热管冷凝端7流出的液体进入集气和布液箱4。

[0025] 作为优选例,所述的热管蒸发端3为n个,热管接入口11为n个,且热管蒸发端3热管接入口11一一对应设置;n为大于1的整数。如图2所示,热管蒸发端3包括第一热管蒸发端3-1、第二热管蒸发端3-2、第三热管蒸发端3-3、第四热管蒸发端3-4、第五热管蒸发端3-5、第六热管蒸发端3-6、第七热管蒸发端3-7、第八热管蒸发端3-8、第九热管蒸发端3-9和第十热管蒸发端3-10。热管接入口11包括第一热管接入口11-1、第二热管接入口11-2、第三热管接入口11-3、第四热管接入口11-4、第五热管接入口11-5、第六热管接入口11-6、第七热管接入口11-7、第八热管接入口11-8、第九热管接入口11-9、第十热管接入口11-10。其中,第一热管蒸发端3-1和第一热管接入口11-1相接,第二热管蒸发端3-2和第二热管接入口11-2相接,第三热管蒸发端3-3和第三热管接入口11-3相接,第四热管蒸发端3-4和第四热管接入口11-4相接,第五热管蒸发端3-5和第五热管接入口11-5相接,第六热管蒸发端3-6和第六热管接入口11-6相接,第七热管蒸发端3-7和第七热管接入口11-7相接,第八热管蒸发端3-8和第八热管接入口11-8相接,第九热管蒸发端3-9和第九热管接入口11-9相接,第十热管蒸发端3-10和第十热管接入口11-10相接。当然,还可以设置其他数量的热管蒸发端3和热管接入口11。

[0026] 为实现运行调节,作为优选例,所述的n个热管接入口11在集气和布液箱4中的高度不同。本优选例中,热管交换器的运行可以根据乏燃料池1的负荷变化作出相应的调节。若乏燃料池1负荷变化,则热管换热器中的工质的蒸发量首先变化,同时冷凝回液量也相应变化,则集气和布液箱4内的液位高度升高或降低。如果工质循环量大,蒸发量减小,则集气和布液箱4内液位变高;如果工质蒸发量变小,则集气和布液箱4内液位变低。由于热管接入口11在集气和分液箱4内的高度不同,可以调节热管蒸发端3进液量,从而实现调节。

[0027] 作为优选例,所述的n个热管接入口11在集气和布液箱4中的高度沿水平方向依次增加或减少。这能根据乏燃料池复核变化,调节蒸发端的能力,并保证每个蒸发端形成薄膜蒸发,传热效果好。

[0028] 作为优选例,所述热管冷凝端7从热管冷凝端7入口到出口方向,向下倾斜;所述下降管9从下降管9入口到出口方向,向下倾斜。热管冷凝端7倾斜设置,有利于液态工质在自身重力作用下,在热管冷凝端7中自动流动。下降管9倾斜设置,也有利于液态工质在自身重力作用下,在下降管9中自动流动。

[0029] 作为优选例,所述热管蒸发端3内壁为多孔介质的重力辅助热管,热管蒸发端3的蒸发为多孔介质中的薄膜蒸发。本实施例中,集气和布液箱4的分液回流到热管蒸发端3,相较于普通分离式热管的循环传热效果要高。普通式分离式热管是满液式的,其内部出现大量塞状流,而本实施例中,热管蒸发端3内部一直是均布的液膜,处于薄液膜蒸发状态,热阻

小,所以循环的传热效果好。作为优选例,所述多孔介质结构为丝网型、烧结型或者沟槽型。

[0030] 将上述实施例或优选例的非能动旗型热管换热器应用到乏燃料池中。乏燃料池装置包括乏燃料池1、乏燃料棒2、热管蒸发端3、集气和布液箱4、上升管6、热管冷凝端7、冷凝器8、下降管9、热管接入口11,以及设置在集气和布液箱4上的集气出口5和布液进口10;乏燃料棒2固定在乏燃料池1的底部,热管蒸发端3位于乏燃料棒2上端,集气和布液箱4固定在乏燃料池1的顶部。

[0031] 在乏燃料池1中,乏燃料棒2中的乏燃料不断地释放衰变热。当乏燃料池1内的水被加热后,会在浮升力的作用下直接向上冲刷热管蒸发端3的热管壁。热管蒸发端3吸收热量,对乏燃料池1的水进行冷却。

[0032] 上述实施例的乏燃料池中,当旗型热管换热器部分运行时,乏燃料池1中的高温水将热量传递到热管蒸发端3,热管蒸发端3受热后,工质蒸发,但未达到传热极限,其内部蒸气压力升高,产生的蒸气在微小的压差下通过热管接入口11流入集气和布液箱4中。如图2所示,在集气和布液箱4中蒸气水平向右经由集气出口5流入上升管6,随后进入热管冷凝端7,在热管冷凝端7中蒸气释放出潜热而凝结成液体,在重力作用下,经由下降管9液体回到集气和布液箱4的布液进口10。液态工质在布液进口液积作用下,在集气和布液箱4中水平向左依次流入到热管蒸发端3部分热管内,如此循环。

[0033] 当旗型热管换热器完全运行时,乏燃料池1中的高温水将热量传递到热管蒸发端3,热管蒸发端3受热后,工质蒸发,且达到传热极限,其内部蒸气压力升高,产生的蒸气在微小的压差下通过热管接入口11流入集气和布液箱4中。如图2所示,在集气和布液箱4中蒸气水平向右经由集气出口5流入上升管6,随后进入热管冷凝端7,在热管冷凝端7中蒸气释放出潜热而凝结成液体,在重力作用下,经由下降管9液体回到集气和布液箱4的布液进口10。液态工质在布液进口液积作用下,在集气和布液箱4中水平向左依次流入到热管蒸发端3各个热管内,如此循环。

[0034] 在乏燃料池1中,乏燃料棒2中的乏燃料不断地释放衰变热。当乏燃料池1内的水被加热后,会在浮升力的作用下直接向上冲刷热管蒸发端3的热管壁,热管蒸发端3吸收热量,对乏燃料池1的水进行冷却。

[0035] 上述实施例利用非能动旗型热管换热器,将乏燃料池1中的流体作为热管蒸发端3的热源,外部空气作为热管冷凝端6的热阱,应用热管内部工质相变和连续循环、热管蒸发端3的薄膜蒸发,以及集气和布液箱4内分液回流产生的高效循环,实现了热量非能动高效传递,且在传热性能上,旗型热管换热器能够根据乏燃料池中的热负荷变化做出适当调节,避免了乏燃料池中的衰变热无法有效导出,达到乏燃料池1内水不沸腾的目的,节约了常规冷却水系统水量和电量,从而直接对乏燃料冷却系统换热设备进行了优化,提升了核电站的纵深防御安全功能。

[0036] 本发明实施例的旗型热管换热器内的工质从冷凝端以冷凝液回至集气和布液箱4。由于多根热管蒸发端3的在集气和分液箱4中接入口高度不同,因此进入热管蒸发端3的冷凝液体的量不同。同时进入热管蒸发端3的冷凝液被多孔吸液层布液,形成薄液膜。均布的冷凝液吸收乏燃料池内的热量蒸发,蒸汽经集气和布液箱、上升管进入冷凝端,凝结放热后,变成冷凝液再进行循环。这实现了乏燃料池1释放的热量的非能动转移。

[0037] 本实施例中,热管冷却系统具有无需电力驱动非能动的优点,将其用于乏燃料池1

能够有效的延长乏燃池无需外部干预的非能动冷却时间,对于实现乏燃料池1长期非能动冷却具有重要意义。如果采用热管非能动冷却系统,当能动冷却系统失效时,乏燃料水池水温超过热管设计温度后,非能动热管冷却系统开始工作,冷却乏燃料水池,使其不发生沸腾。

[0038] 以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征和优点。本领域的技术人员应该了解,本发明不受上述具体实施例的限制,上述具体实施例和说明书中的描述只是为了进一步说明本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。本发明要求保护的范围由权利要求书及其等效物界定。

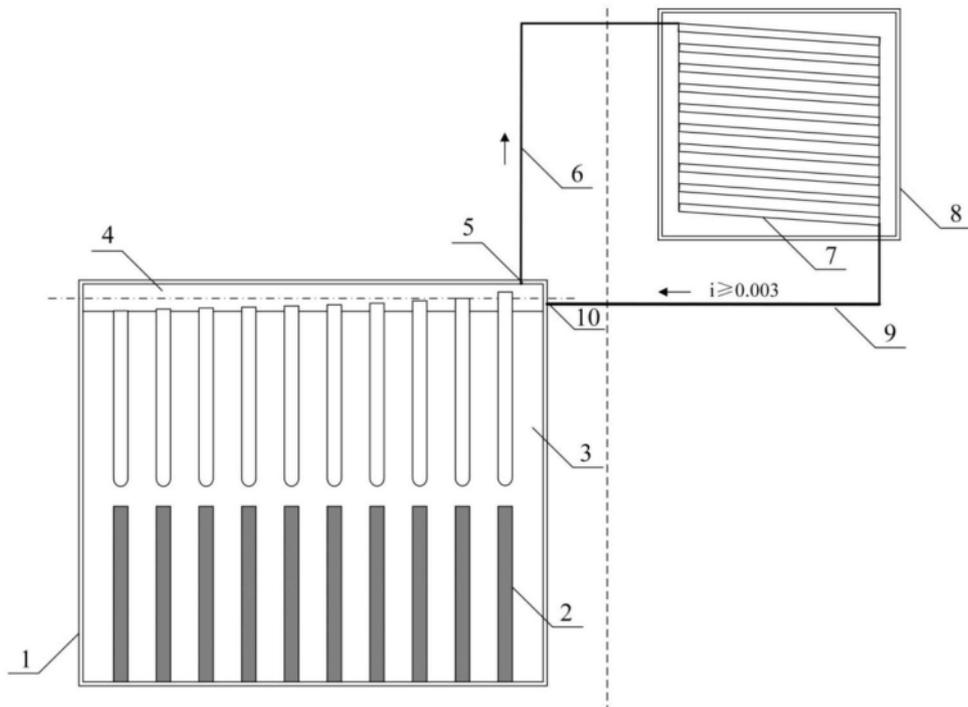


图1

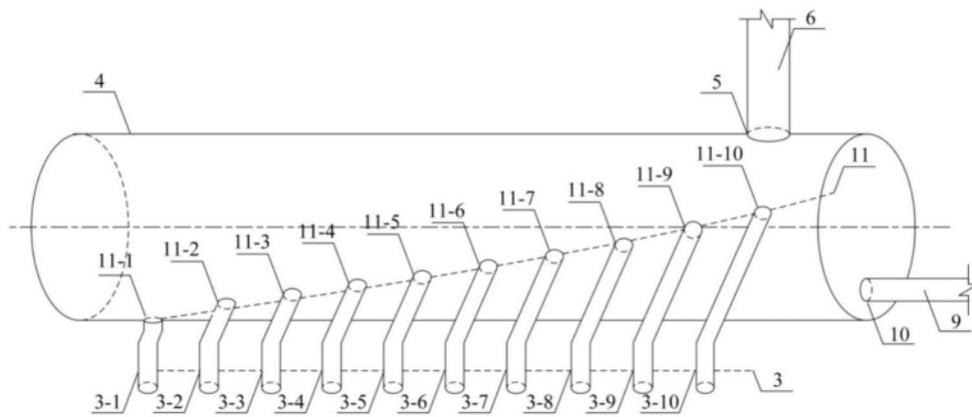


图2

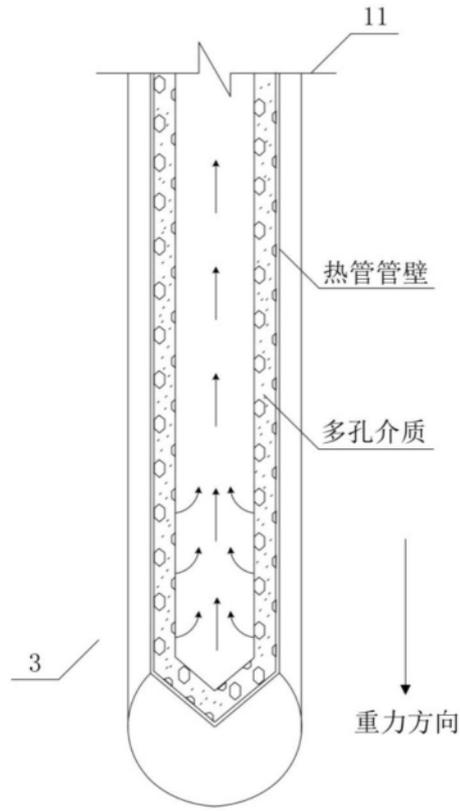


图3