



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113345609 B

(45) 授权公告日 2022.03.01

(21) 申请号 202110614860.4

(22) 申请日 2021.06.02

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113345609 A

(43) 申请公布日 2021.09.03

(73) 专利权人 哈尔滨工程大学
地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街145号

(72) 发明人 夏庚磊 卢帅杰 张乾平 王航
彭敏俊 成守宇 朱海山 杜雪

(74) 专利代理机构 北京睿智保诚专利代理事务所(普通合伙) 11732
代理人 龙涛

(51) Int. Cl.
G21C 15/12 (2006.01)
G21C 15/28 (2006.01)
G21C 15/14 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 103295654 A, 2013.09.11
- CN 1351353 A, 2002.05.29
- CN 109273114 A, 2019.01.25
- CN 103903659 A, 2014.07.02
- CN 109378093 A, 2019.02.22
- CN 101679893 A, 2010.03.24
- CN 104021824 A, 2014.09.03
- JP H03197898 A, 1991.08.29
- US 2018240558 A1, 2018.08.23
- US 2015131769 A1, 2015.05.14
- JP H07301689 A, 1995.11.14
- DE 1514955 A1, 1969.05.29
- GB 897483 A, 1962.05.30
- GB 981424 A, 1965.01.27

王琮. “海上核电站余热排换热器外部自然循环流动研究”. 《科技创新导报》. 2018, 第26卷

审查员 马梨

权利要求书1页 说明书4页 附图2页

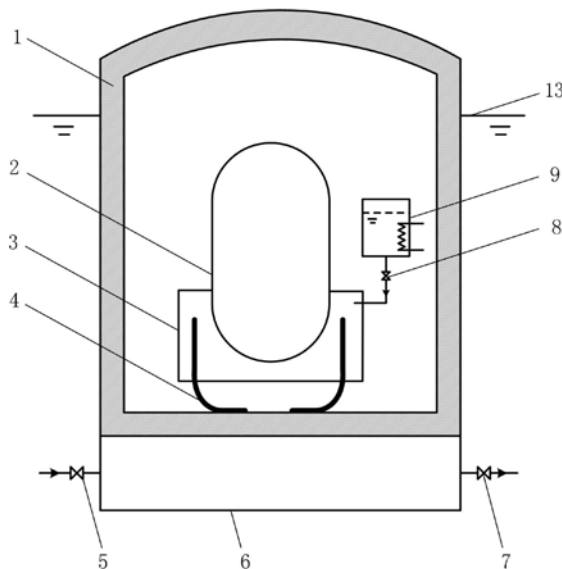
(54) 发明名称

一种用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统

(57) 摘要

本发明公开了一种用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统,属于核反应堆工程技术领域,其包括安全壳、压力容器、液态镓收集箱、热管、冷却舱和储镓箱;安全壳布置在大海环境,安全壳具有容纳腔;压力容器和液态镓收集箱上下设置,并位于安全壳的容纳腔内;热管的一端插置在液态镓收集箱内,另一端设置在液态镓收集箱外;储镓箱位于安全壳的容纳腔内;储镓箱通过液态镓释放阀门与液态镓收集箱连通;冷却舱设置安全壳的下端,并位于大海环境的海平面以下。本发明不会面临热阱丧失导致反应堆容器外部冷却失效的风险,不会在安全壳内部产生大量蒸汽,避免了流道阻塞和安全壳超压的问题,具有安全稳定、可以长期运行的优点。

CN 113345609 B



1. 一种用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统,其特征在于,包括安全壳(1)、压力容器(2)、液态镓收集箱(3)、热管(4)、冷却舱(6)和储镓箱(9);

所述安全壳(1)布置在大海环境(13),所述安全壳(1)具有容纳腔;

所述压力容器(2)和所述液态镓收集箱(3)上下设置,并位于所述安全壳(1)的容纳腔内;其中,所述压力容器(2)下封头设置在所述液态镓收集箱(3)内;

所述热管(4)的一端插置在所述液态镓收集箱(3)内,设定为蒸发段;所述热管(4)的另一端设置在所述液态镓收集箱(3)外远离所述压力容器(2)的一侧,并与所述安全壳(1)底部的内壁固定连接,设定为冷凝段;

所述储镓箱(9)位于所述安全壳(1)的容纳腔内,并设置在所述液态镓收集箱(3)外;所述储镓箱(9)与所述液态镓收集箱(3)连通;

所述冷却舱(6)设置所述安全壳(1)的下端,所述冷却舱(6)的一端与海水进口阀门(5)的出口连接,另一端与海水出口阀门(7)的入口连接,所述海水进口阀门(5)的入口、所述海水出口阀门(7)的出口均与所述大海环境(13)连通,所述海水进口阀门(5)、所述冷却舱(6)和所述海水出口阀门(7)形成海水的流动通道。

2. 根据权利要求1所述的用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统,其特征在于,所述储镓箱(9)与所述液态镓收集箱(3)之间设置有液态镓释放阀门(8);所述储镓箱(9)内设置有加压氩气(10)、液态镓(11)和辅助加热器(12),所述加压氩气(10)位于所述储镓箱(9)的上部空间,所述液态镓(11)位于所述储镓箱(9)的下部空间,所述辅助加热器(12)设置在所述液态镓(11)内部;所述储镓箱(9)的下部空间通过连接管与所述液态镓收集箱(3)连通,所述液态镓释放阀门(8)设置在所述连接管上。

3. 根据权利要求2所述的用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统,其特征在于,所述辅助加热器(12)控制所述液态镓(11)保持液态。

4. 根据权利要求3所述的用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统,其特征在于,所述液态镓收集箱(3)具有存储腔,所述存储腔由所述压力容器(2)的下封头容器壁和所述液态镓收集箱(3)的壳体组成。

5. 根据权利要求4所述的用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统,其特征在于,所述液态镓收集箱(3)的存储腔为真空。

6. 根据权利要求5所述的用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统,其特征在于,所述储镓箱(9)设置在高于所述液态镓收集箱(3)的上端面位置。

7. 根据权利要求6所述的用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统,其特征在于,所述海水进口阀门(5)、所述海水出口阀门(7)和所述液态镓释放阀门(8)在未发生堆芯熔毁事故时,保持通电关闭状态,在发生堆芯熔毁事故时,保持断电打开状态。

8. 根据权利要求7所述的用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统,其特征在于,所述海水进口阀门(5)、所述海水出口阀门(7)和所述液态镓释放阀门(8)均为电磁阀。

9. 根据权利要求1所述的用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统,其特征在于,所述海水进口阀门(5)、所述冷却舱(6)和所述海水出口阀门(7)均位于所述大海环境(13)的海平面以下。

10. 根据权利要求1所述的用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统,其特征在于,所述热管(4)的循环工质为水,所述热管(4)的蒸发段设有肋片。

一种用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统

技术领域

[0001] 本发明属于核反应堆工程技术领域,具体涉及一种采用液态镓作为中间传热介质、热管传递热量的用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统。

背景技术

[0002] 浮动核电站可用于发电、海水淡化,能满足区域供电、海上石油开采、孤岛等特殊需要,提高浮动核电站的安全性(或减轻假定严重事故)是浮动核电站设计的关键。熔融物堆内滞留(IVR)是许多先进反应堆设计减轻假定严重事故的关键策略之一。IVR的成功在很大程度上依赖于反应堆容器外部冷却(ERVC),通过ERVC将衰变热从反应堆容器下封头的熔融堆芯中排出。

[0003] 传统ERVC采用蒸发堆坑流道内冷却水,以维持压力容器完整性。这就导致传统ERVC具有三个缺陷:(1)流道内产生大量蒸汽,有流道出口阻塞、下封头赤道位置热流密度超过临界热流密度极限,进而引起熔融物熔穿压力容器的风险。(2)安全壳内产生大量蒸汽,有造成安全壳超压威胁安全壳完整性的风险。(3)传统ERVC不能长期运行,因为堆坑水不断升温,当温度足够高时,传统ERVC将丧失冷却能力。

[0004] 因此,亟需一种适用于浮动核电站的更安全、稳定、可靠的压力容器外部冷却系统。

发明内容

[0005] 本发明的主要目的是提供一种利用液态镓作为中间传热介质、热管传递热量的用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统,采取了如下技术方案:

[0006] 一种用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统,包括安全壳、压力容器、液态镓收集箱、热管、冷却舱和储镓箱;

[0007] 所述安全壳布置在大海环境,所述安全壳具有容纳腔;

[0008] 所述压力容器和所述液态镓收集箱上下设置,并位于所述安全壳的容纳腔内;其中,所述压力容器下封头设置在所述液态镓收集箱内;

[0009] 所述热管的一端插置在所述液态镓收集箱内,设定为蒸发段;所述热管的另一端设置在所述液态镓收集箱外远离所述压力容器的一侧,并与所述安全壳底部的内壁固定连接,设定为冷凝段;

[0010] 所述储镓箱位于所述安全壳的容纳腔内,并设置在所述液态镓收集箱外;所述储镓箱与所述液态镓收集箱连通;

[0011] 所述冷却舱设置所述安全壳的下端,所述冷却舱的一端与海水进口阀门的出口连接,另一端与海水出口阀门的入口连接,所述海水进口阀门的入口、所述海水出口阀门的出口均与所述大海环境连通,所述海水进口阀门、所述冷却舱和所述海水出口阀门形成海水的流动通道。

[0012] 进一步地,所述储镓箱与所述液态镓收集箱之间设置有液态镓释放阀门;所述储

镓箱内设置有加压氩气、液态镓和辅助加热器,所述加压氩气位于所述储镓箱的上部空间,所述液态镓位于所述储镓箱的下部空间,所述辅助加热器设置在所述液态镓内部;所述储镓箱的下部空间通过连接管与所述液态镓收集箱连通,所述液态镓释放阀门设置在所述连接管上。

[0013] 进一步地,所述辅助加热器控制所述液态镓保持液态。

[0014] 进一步地,所述液态镓收集箱具有存储腔,所述存储腔由所述压力容器的下封头容器壁和所述液态镓收集箱的壳体组成。

[0015] 进一步地,所述液态镓收集箱的存储腔为真空。

[0016] 进一步地,所述储镓箱设置在高于所述液态镓收集箱的上端面位置。

[0017] 进一步地,所述海水进口阀门、所述海水出口阀门和所述液态镓释放阀门在未发生堆芯熔毁事故时,保持通电关闭状态,在发生堆芯熔毁事故时,保持断电打开状态。

[0018] 进一步地,所述海水进口阀门、所述海水出口阀门和所述液态镓释放阀门均为电磁阀。

[0019] 进一步地,所述海水进口阀门、所述冷却舱和所述海水出口阀门均位于所述大海环境的海平面以下。

[0020] 进一步地,所述热管的循环工质为水,所述热管的蒸发段设有肋片。

[0021] 本发明有益效果:

[0022] 1、与传统反应堆容器外部冷却(ERVC)装置相比,本发明利用热管将衰变热传递至钢制安全壳底部内壁面,循环海水在冷却舱内冲刷冷却钢制安全壳底部外壁面,大海环境作为最终热阱,不会面临热阱丧失导致反应堆容器外部冷却失效的风险,不会在安全壳内部产生大量蒸汽,避免了流道阻塞和安全壳超压的问题,具有安全稳定、可以长期运行的优点。

[0023] 2、本发明不会在安全壳内部产生大量蒸汽,避免了流道阻塞和安全壳超压的问题。

[0024] 3、本发明依靠气压差和重位压差驱动液态镓从储镓箱进入液态镓收集箱,具有动作迅速、固有安全性高的特点;液态镓收集箱、液态镓释放阀门和储镓箱组成密闭环境,有效避免有毒镓挥发进入安全壳;因储镓箱装有加压氩气,在事故情况下能够自动稳定液态镓收集箱、液态镓释放阀门和储镓箱所组成密闭环境的压力波动。

[0025] 4、与传统反应堆容器外部冷却(ERVC)装置相比,本发明采用液态镓作为中间传热介质,利用液态镓高导热特性,有效降低了压力容器赤道位置热流密度,极大降低了压力容器熔穿的风险;液态金属镓具有高沸点特性,压力容器外部不会沸腾,从而避免了因流动沸腾引起的传热恶化问题。

附图说明

[0026] 图1是本发明的整体结构布置示意图;

[0027] 图2是储镓箱内部结构示意图;

[0028] 其中,1、安全壳;2、压力容器;3、液态镓收集箱;4、热管;5、海水进口阀门;6、冷却舱;7、海水出口阀门;8、液态镓释放阀门;9、储镓箱;10、加压氩气;11、液态镓;12、辅助加热器;13、大海环境。

具体实施方式

[0029] 实施例1

[0030] 一种用于浮动核电站的压力容器外部冷却系统,包括安全壳1、压力容器2、液态镓收集箱3、热管4、冷却舱6和储镓箱9。

[0031] 安全壳1布置在大海环境13,安全壳1具有容纳腔。

[0032] 压力容器2和液态镓收集箱3上下设置,并位于安全壳1的容纳腔内;压力容器2下封头设置在液态镓收集箱3内。

[0033] 热管4的一端插置在液态镓收集箱3内,设定为蒸发段;热管4的另一端设置在液态镓收集箱3外远离压力容器2的一侧,并与安全壳1底部的内壁固定连接,设定为冷凝段。

[0034] 其中,热管4的循环工质为水,热管4的蒸发段设有肋片。

[0035] 热管4的蒸发段插入液态镓收集箱3内部,但不与压力容器2相连,冷凝段与安全壳1底部内壁面相连,事故情况下热管4能够将液态镓11的热量传递至安全壳1底部内壁面,后以导热的方式将热量传递至安全壳1的底部外壁面。

[0036] 储镓箱9位于安全壳1的容纳腔内,并设置在液态镓收集箱3外,高于液态镓收集箱3的上端面位置;储镓箱9与液态镓收集箱3连通,其中,储镓箱9与液态镓收集箱3之间设置有液态镓释放阀门8,液态镓释放阀门8的一端连接储镓箱9出口,另一端连接液态镓收集箱3入口。

[0037] 在本实施例中,海水进口阀门5、冷却舱6和海水出口阀门7均位于大海环境13的海平面以下;冷却舱6设置安全壳1的下端,冷却舱6的一端与海水进口阀门5的出口连接,另一端与海水出口阀门7的入口连接,海水进口阀门5的入口、海水出口阀门7的出口均与大海环境13连通,海水进口阀门5、冷却舱6和海水出口阀门7形成海水的流动通道。

[0038] 在本实施例中,储镓箱9内设置有加压氩气10、液态镓11和辅助加热器12,加压氩气10位于储镓箱9的上部空间,液态镓11位于储镓箱9的下部空间,辅助加热器12设置在液态镓11内部;储镓箱9的下部空间通过连接管与液态镓收集箱3连通,其中,液态镓释放阀门8设置在连接管上。辅助加热器12控制液态镓11保持液态。

[0039] 液态镓收集箱3具有存储腔,存储腔由压力容器2的下封头容器壁和液态镓收集箱3的壳体组成。液态镓收集箱3的存储腔为真空。

[0040] 海水进口阀门5、海水出口阀门7和液态镓释放阀门8在未发生堆芯熔毁事故时,保持通电关闭状态,在发生堆芯熔毁事故时,保持断电打开状态。

[0041] 其中,未发生堆芯熔毁事故时,液态镓释放阀门8保持通电关闭状态,液态镓11储存在储镓箱9内,在辅助加热器12控制下保持液态;发生堆芯熔毁事故时,液态镓释放阀门8保持断电打开状态,液态镓11在压差和重位差作用下进入液态镓收集箱3,熔池内的衰变热经压力容器2下封头导热,传递至液态镓收集箱3内的液态镓11。

[0042] 在本实施例中,海水进口阀门5、海水出口阀门7和液态镓释放阀门8均为电磁阀。在其他实施例中,海水进口阀门5、海水出口阀门7和液态镓释放阀门8也可以是具有同样功能的其他阀门。

[0043] 本实施例的工作原理为:

[0044] 未发生堆芯熔毁事故时,海水进口阀门5、海水出口阀门7和液态镓释放阀门8保持通电关闭状态;储镓箱9下部空间的液态镓11在辅助加热器12控制下保持液态,储镓箱9上

部空间的加压氩气10预充一定的压力,液态镓收集箱3保持真空,并且储镓箱9布置在高于液态镓收集箱3的位置,因此,储镓箱9内部与液态镓收集箱3存储腔之间建立起重位压差和气压差;因海水进口阀门5和海水出口阀门7保持通电关闭状态,冷却舱6内部无循环流动。

[0045] 发生堆芯熔毁事故时,海水进口阀门5、海水出口阀门7和液态镓释放阀门8断电打开;液态镓11在重位压差和气压差的作用下从储镓箱9进入液态镓收集箱3,熔池内的衰变热经压力容器2下封头导热,传递至液态镓收集箱3内的液态镓11,热管4将液态镓11的热量传递至安全壳1底部内壁面,后以导热的方式传递至安全壳1底部外壁面;因海水进口阀门5和海水出口阀门7断电打开,大海环境13海水经海水进口阀门5进入冷却舱6,冲刷冷却安全壳1底部外壁面,后经海水出口阀门7流入大海环境13。

[0046] 以上所述,仅是本发明较佳实施例而已,并非对本发明的技术范围作任何限制,故凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何细微修改、等同变化与修饰,均仍属于本发明技术方案的范围。

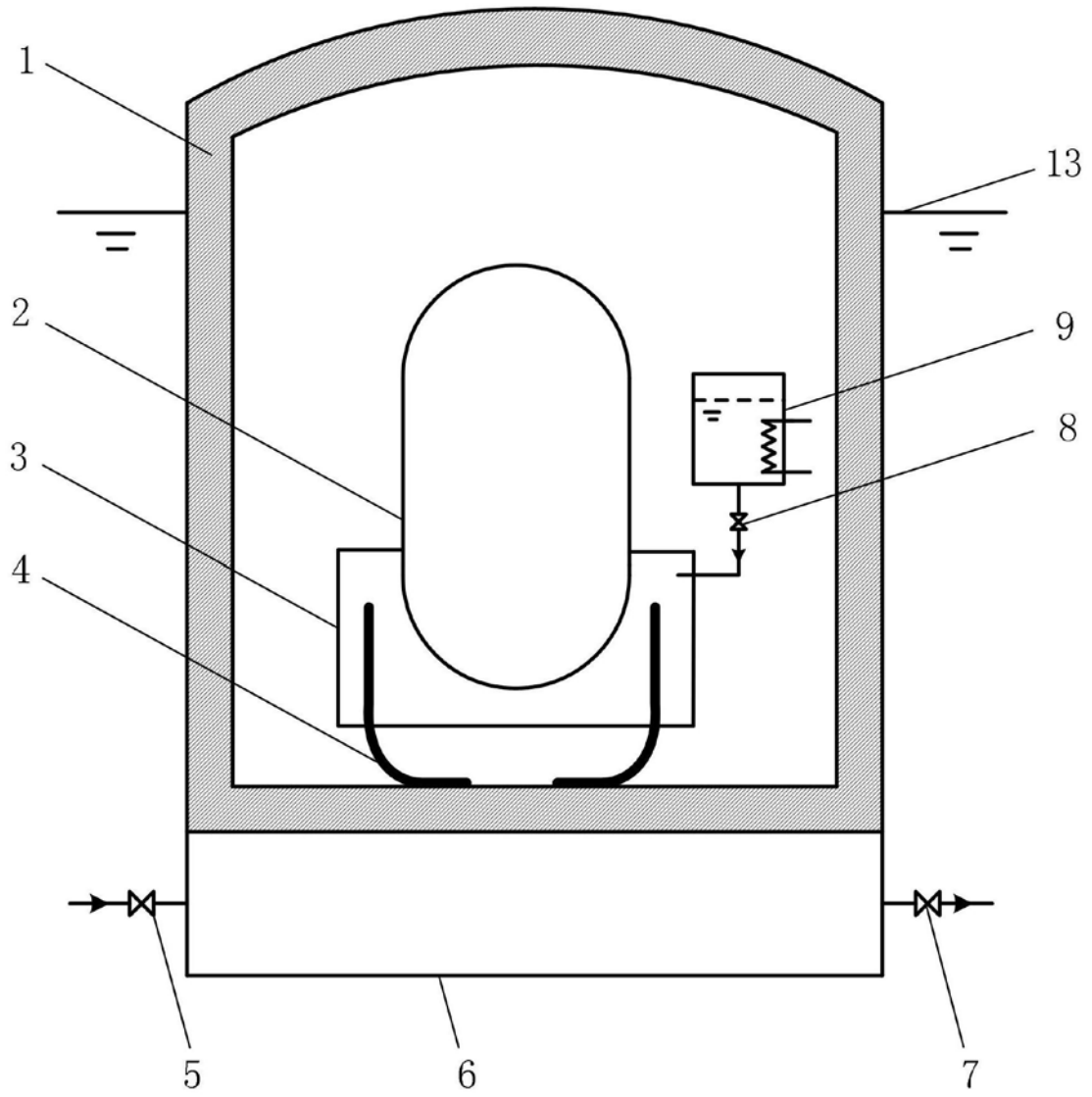


图1

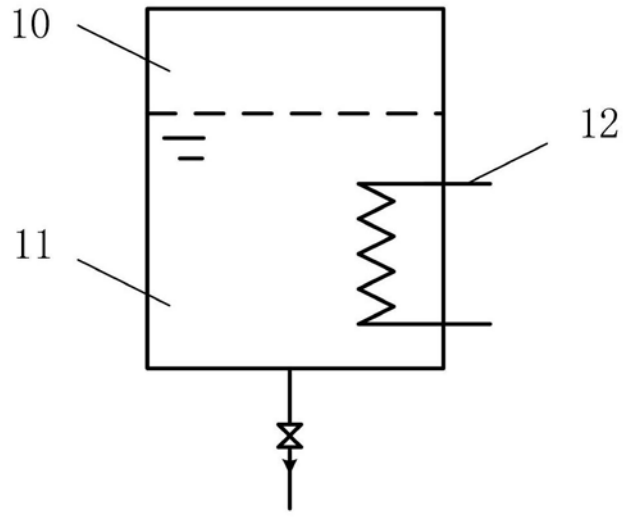


图2