



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108122622 A

(43)申请公布日 2018.06.05

(21)申请号 201711183712.1

G21C 17/035(2006.01)

(22)申请日 2017.11.23

(71)申请人 中国核电工程有限公司

地址 100840 北京市海淀区西三环北路117号

(72)发明人 郭强 李军 林斌 喻鹏 马卫民 元一单 张丽 韩旭 邹文重 于明锐 于勇 毛喜道 黄政 王辉 张慧敏 王长东

(74)专利代理机构 北京天悦专利代理事务所 (普通合伙) 11311

代理人 田明 任晓航

(51)Int.Cl.

G21C 15/18(2006.01)

G21C 17/022(2006.01)

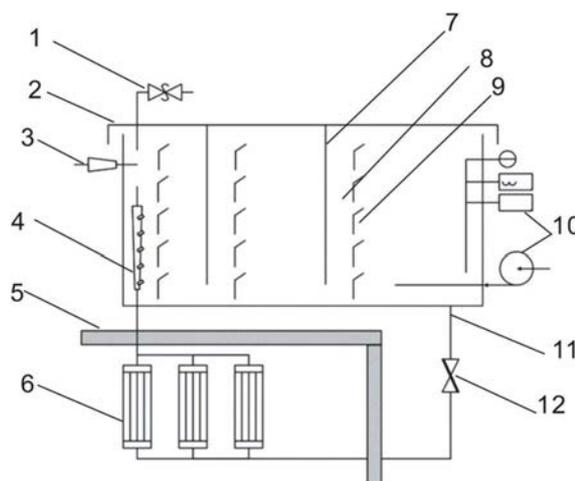
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种非能动安全壳冷却系统的冷却水箱

(57)摘要

本发明公开了一种非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,包括状态监测补水系统和设置在反应堆安全壳墙体外侧可实现自动热管理的封闭箱体;所述状态监测补水系统用于监测所述封闭箱体内部的冷却水状态并根据该状态补水;所述封闭箱体与设置于所述反应堆安全壳墙体内侧的换热器通过循环管路连接;所述封闭箱体内部被水体隔板分隔为至少两个水体单元,各水体单元通过溢流出口和来流入口连接;所述封闭箱体出水的循环管路和所述封闭箱体回水的循环管路分别连接于两个不同的水体单元。本发明的有益效果为:通过水体单元将冷却回水分层进行热管理,能够在系统投入运行后始终为冷却系统提供低温的冷却水源,使得系统能够获得较高的自然循环能力和排热功率。



1. 一种非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,包括状态监测补水系统(10)和设置在反应堆安全壳墙体(5)外侧的封闭箱体(2);所述状态监测补水系统(10)用于监测所述封闭箱体(2)内的冷却水状态并根据该状态补水;所述封闭箱体(2)与设置于所述反应堆安全壳墙体(5)内侧的换热器(6)通过循环管路连接;其特征在于,所述封闭箱体(2)内部被水体隔板(7)分隔为至少两个水体单元,各水体单元通过溢流出口(14)和来流入口(13)连接;所述封闭箱体出水的循环管路和所述封闭箱体回水的循环管路分别连接于两个不同的水体单元。

2. 如权利要求1所述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,每个水体单元内部均设置有纵向的连通井(8)和储水区(15),其特征在于:相邻水体单元之间的水体隔板(7)安装有隔热层,所述来流入口(13)设置于所述连通井(8)内部的下方,所述连通井(8)通过溢流管阵列(9)与所述储水区(15)连接,所述溢流出口(14)设置于所述储水区(15)。

3. 如权利要求1或2所述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,其特征在于:所述溢流管阵列(9)包括至少两个纵向排布的溢流管;

所述溢流管包括流道挡板(18)、铰链(19)、浮子(17b)和开设于所述连通井(8)上的流道接口;所述流道挡板(18)下端与所述流道接口的下端通过铰链(19)铰接;所述浮子(17b)设置于所述流道挡板(18)朝向所述储水区(15)的一侧;当储水区(15)水位高于溢流管时,所述浮子(17b)产生的浮力使所述流道挡板(18)封闭所述流道接口;当储水区(15)水位降低至溢流管时,流道挡板(18)在重力矩作用下打开。

4. 如权利要求3所述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,其特征在于:所述流道挡板(18)朝向所述连通井(8)的一侧设置锁定滑块。

5. 如权利要求4所述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,其特征在于:储水区(15)水位高于溢流管时,浮子(17b)带动锁定滑块(17a)浮升,所述流道上沿卡入所述锁定滑块(17a)以实现流道和流道挡板(18)的锁定;储水区(15)水位降低至溢流管时,锁定滑块(17a)因浮子(17b)失去浮力而落下解锁。

6. 如权利要求5所述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,其特征在于:所述流道挡板(18)上还设置有由平行设置的内护板(16b)和外护板(16a)组成的旋转槽,所述流道接口的壁面夹在其中。

7. 如权利要求3-6任一所述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,其特征在于:所述流道挡板(18)顶端设置有外突的配重弯,所述流道挡板的外展距离不小于所述浮子(17b)的厚度且不大于所述浮子(17b)厚度的1.2倍。

8. 如权利要求1-6任一所述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,其特征在于:由与所述封闭箱体出水的循环管路连接的水体单元至与所述封闭箱体回水的循环管路连接的水体单元,各水体单元的储水区(15)容积依次成比例递增,相邻水体单元的储水区(15)容积递增比例为1.5-3倍。

9. 如权利要求2-6任一所述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,其特征在于:所述水体单元中连通井(8)的容积小于所在水体单元的储水区(15),容积之比不大于1:100。

10. 如权利要求2-6任一所述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,所述封闭箱体(2)上设置有安全阀(1)和排气管嘴(3);其特征在于:安全阀(1)和排气管嘴(3)设置于连通井(8)顶部;所述封闭箱体(2)内设置有与所述封闭箱体回水的循环管路连接的循环回路出口管嘴(4),所述循环回路出口管嘴(4)为至少两个,纵向设置于所述连通井(8)内。

一种非能动安全壳冷却系统的冷却水箱

技术领域

[0001] 本发明属于反应堆安全系统设计技术,具体涉及一种非能动安全壳排热系统的冷却水箱。

背景技术

[0002] 从上世纪八十年代开始,美国、日本、法国、德国、俄罗斯等国家开展了非能动技术的研究,其中以非能动安全先进核电厂AP1000第三代核电机组为代表(专利号EP2091050 B1),其他国家开发的三代先进核电在设计安全壳冷却系统时也广泛应用了这一理念,例如中国的华龙一号(专利号CN102522127 B),美国通用-日本日立联合研发的ESBWR(专利号US 8917810 B2),等等。

[0003] 无论从安全性还是经济性考虑,采用非能动安全壳冷却系统来提高核电厂的安全水平是大势所趋。

[0004] 但由于非能动安全壳冷却系统主要依赖回路内的自然循环来实现快速冷却的安全目的,受制于自然循环的技术特性,非能动安全壳冷却系统的排热能力与作为冷源的冷却水箱所提供的入口水温是密切相关的,水温越低,越能促进排热功率的提高。

[0005] 目前的非能动安全壳冷却系统的设计方案中,仅仅是回水循环,没有针对水箱(冷源)采用高效的热管理措施,冷却水箱的回水返回水箱后直接与所述封闭水箱内的冷却水再次混合后之间再次流出水箱用于冷却,造成运行一段时间后,入口冷却剂温度明显上升,冷却功率大幅下降,难于使得非能动安全壳冷却系统在事故工况下保持高水平排热功率维持较长时间的高效状态运行,达到安全壳更快的冷却速率,提升事故后核电厂放射性物质包容的安全裕量。

[0006] 参考太阳能以及热水器行业在热管理技术的设计经验(专利号CN202101414U, CN101825336A, CN201652803U, CN103047785B, CN202598847U, CN201215408Y, CN203572079U, CN103604232A, CN201382615Y等),结合核电厂非能动安全系统对于无电源依赖、自主调节、精确控制以及高可靠性的特殊要求,对现有冷却水箱的设计进行深化研究,所提出的改进设计可以有效提升热管理水平,进而实现更为高效的系统安全功能。

发明内容

[0007] 针对现有技术中所存在的问题,本发明的目的在于提供一种非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,在回水过程中对回水进行无需人工干预的高效热管理,有效降低冷却水箱在供水口附近的冷却剂温度,进而提升非能动安全壳冷却系统的冷却功率。

[0008] 为了实现上述发明目的,本发明的技术方案如下:

[0009] 一种非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,包括状态监测补水系统和设置在反应堆安全壳墙体外侧的封闭箱体;所述状态监测补水系统用于监测所述封闭箱体内部的冷却水状态并根据该状态补水;所述封闭箱体与设置于所述反应堆安全壳墙体内侧的换热器通过循环管路连接;所述封闭箱体内部被水体隔板分隔为至少两个水体单元,各水体单元通过溢

流出口和来流入口连接;所述封闭箱体出水的循环管路和所述封闭箱体回水的循环管路分别连接于两个不同的水体单元。

[0010] 进一步地,上述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,每个水体单元内部均设置有纵向的连通井和储水区,相邻水体单元之间的水体隔板安装有隔热层,所述来流入口设置于所述连通井内部的下方,所述连通井通过溢流管阵列与所述储水区连接,所述溢流出口设置于所述储水区。

[0011] 进一步地,上述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,所述溢流管阵列包括至少两个纵向排布的溢流管;

[0012] 所述溢流管包括流道挡板、铰链、浮子和开设于所述连通井上的流道接口;所述流道挡板下端与所述流道接口的下端通过铰链铰接;所述浮子设置于所述流道挡板朝向所述储水区的一侧;当储水区水位高于溢流管时,所述浮子产生的浮力使所述流道挡板封闭所述流道接口;当储水区水位降低至溢流管时,流道挡板在重力矩作用下打开。

[0013] 进一步地,上述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,所述流道挡板朝向所述连通井的一侧设置锁定滑块。

[0014] 进一步地,上述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,储水区水位高于溢流管时,浮子带动锁定滑块浮升,所述流道上沿卡入所述锁定滑块以实现流道和流道挡板的锁定;储水区水位降低至溢流管时,锁定滑块因浮子失去浮力而落下解锁。

[0015] 进一步地,上述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,所述流道挡板上还设置有由平行设置的内护板和外护板组成的旋转槽,所述流道接口的壁面夹在其中。

[0016] 进一步地,上述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,所述流道挡板顶端设置有外突的配重弯为外突结构,所述流道挡板的外展距离不小于所述浮子厚度且不大于所述浮子厚度的1.2倍。

[0017] 进一步地,上述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,由与所述封闭箱体出水的循环管路连接的水体单元至与所述封闭箱体回水的循环管路连接的水体单元,各水体单元的储水区容积依次成比例递增,相邻水体单元的储水区容积递增比例为1.5-3倍。

[0018] 进一步地,上述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,所述水体单元中连通井的容积小于所在水体单元的储水区,容积之比不大于1:100。

[0019] 进一步地,上述的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱,所述封闭箱体上设置有安全阀和排气管嘴;其特征在于:安全阀和排气管嘴设置于连通井顶部;所述封闭箱体内设置有与所述封闭箱体回水的循环管路连接的循环回路出口管嘴,所述循环回路出口管嘴为至少两个,纵向设置于所述连通井内。。

[0020] 本发明的有益效果为:

[0021] 1、本发明通过水体单元将冷却回水分层进行热管理,能够在系统投入运行后长期为冷却系统提供低温的冷却水源,使得系统能够获得较高的自然循环能力和排热功率;

[0022] 2、实现了冷却水的有效回收,同时也对不同品质的水源实现了区隔管理,为未来针对不同水温区域开展针对性改进措施提供了可能;

[0023] 3、冷却水箱的出水温度明显降低,能够明显缩短安全壳降温降压所需的时间,显著提升核电站事故安全水平,降低严重事故下放射性物质向环境释放的可能性;

[0024] 4、通过状态监测补水系统可以自动实现水箱状态监测,从而可以准确系统排热能

力,这对于事故初期操纵员制定后续干预策略提供了重要的数据支持;

[0025] 5、水箱内冷却剂可在无人工干预的情况下自动实现优化高效的热管理策略,实现了对冷却水源的充分利用,为赢得更长的事故后不干预时间提供了装备基础。

附图说明

[0026] 图1为本发明一个实施例的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱的结构示意图。

[0027] 图2为本发明实施例水体单元的结构示意图。

[0028] 图3为本发明实施例的溢流管打开状态的结构示意图。

[0029] 图4为本发明实施例的溢流管关闭状态的结构示意图。

[0030] 上述附图中,1、安全阀;2、封闭箱体;3、排气管嘴;4、循环回路出口管嘴;5、反应堆安全壳墙体;6、换热器;7、水体隔板;8、连通井;9、溢流管阵列;10、状态监测补水系统;11、循环回路入口管嘴;12、控制阀;13、来流入口;14、溢流出口;15、储水区;16a、外护板;16b、内护板;17a、锁定滑块;17b、浮子;18、流道挡板;19、铰链。

具体实施方式

[0031] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细的描述。

[0032] 鉴于现有技术中冷却水箱的不足,发明人对现有技术进行深化研究和改进提升,进而使得冷却系统出口回流至大水池的热水避免直接与主要水体掺混,最大程度避免整体水温升高,尤其是最大程度的维持循环冷却系统入口的低水温,从而最大程度的将系统排热功率维持在较高水平,使得安全壳温度和压力更快降到更为安全的状态并得到保持。

[0033] 本发明提供的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱设计方案应用热管理的思想,将回收的高温冷却剂分区管理,为冷却系统最大程度的持续供给低温冷却剂,使得非能动安全壳冷却系统达到更高效的冷却功率,为安全壳排热提供更为安全可靠的配套技术。

[0034] 本发明提供的非能动安全壳冷却系统的冷却水箱如图1所示,包括状态监测补水系统10和设置在反应堆安全壳墙体5外侧的封闭箱体2;所述状态监测补水系统10装备有测量仪表和基于测量信号的逻辑反馈动作器,用于监测所述封闭箱体2内的冷却水状态并根据该状态补水内的冷却水状态并根据温度、水位等状态信号实施补水;所述封闭箱体2与设置于所述反应堆安全壳墙体5内侧的换热器6通过循环管路连接;所述封闭箱体2内部被水体隔板7(所述的水体隔板7设计有隔热夹层)分隔为至少两个具备非能动热管理功能的水体单元,各水体单元通过溢流出口14和来流入口13连接;所述封闭箱体2出水的循环管路和所述封闭箱体回水的循环管路分别连接于两个不同的水体单元。所述水体单元分为冷、热水体单元至少各一个,出水的循环管路和所述封闭箱体回水的循环管路分别连接于冷、热两个水体单元。状态监测补水系统10的出口布置于封闭箱体2出口侧水体单元的底部,可以通过温度、压力、液位等参数实现状态监测、自动报警和触发补水动作的功能。

[0035] 对于采用自然循环为基本工作机制的各类非能动安全壳冷却系统,均可借助通用的接口将循环回路的出入口与本发明提供的封闭箱体2相连。冷却剂由循环回路入口管嘴11的位置进入非能动安全壳冷却系统,在控制阀12的控制下沿循环管路移动,在换热器6完成吸热后,穿出反应堆安全壳墙体5,通过循环回路出口管嘴4回到封闭箱体2,实现冷却剂的闭环回收。

[0036] 如图2所示,本实施例中的水体单元内部设置有纵向的连通井8和储水区15,所述来流入口13设置于所述连通井8内部,所述连通井8通过溢流管阵列9与所述储水区15连接,所述溢流出口14设置所述储水区15。所述溢流管阵列9包括至少两个纵向设置的溢流管。所述来流入口13和溢流出口14均设置在水体单元的下部。

[0037] 如图3和图4所示,所述溢流管包括流道挡板18、铰链19、浮子17b和开设于所述连通井8上的流道接口;所述流道挡板18下端与所述流道下端通过铰链19铰接;所述浮子17b(作为浮升滑块)设置于所述流道挡板18朝向所述储水区15的一侧。浮子17b与锁定滑块17a之间由滑动螺栓连接,滑动螺栓贯穿安装于流道挡板18的纵向滑动槽中。当储水区15水位高于溢流管时,所述浮子17b产生的浮力使所述流道挡板18抬升关闭,进而带动锁定滑块17a上浮将溢流管锁定为流道封闭状态;当储水区15水位降低至溢流管时,流道挡板18在重力作用下打开。另外,所述流道挡板18朝向所述连通井8的一侧设置锁定滑块17a。储水区15水位高于溢流管时,浮子17b带动锁定滑块17a浮升,所述流道上沿卡入所述锁定滑块17a以实现流道接口和流道挡板18的锁定;储水区15水位降低至溢流管时,锁定滑块17a因浮子17b失去浮力而落下解锁。锁定滑块17a下降从而解锁流道挡板18后,流道挡板18在配重弯的重力矩作用下打开,直至限位块卡住流道接口边缘,从而限定溢流管的最大打开角度,根据设计需要,可通过调节限位块的安装位置预设,通常最大打开角度为20-60°(此处定义关闭状态为0°)。所述流道挡板18上还设置有由平行设置的内护板16b和外护板16a组成的旋转槽,所述流道接口的壁面夹在其中。所述流道挡板18顶端设置有外突的配重弯,所述流道挡板的外展距离不小于所述浮子17b厚度且不大于所述浮子17b厚度的1.2倍。本实施例中,回水由连通井8的来流入口13进入和通过溢流管阵列9进入储水区15后再通过溢流出口14流入相邻的水体单元,使得进入本水体单元的热热水不会直接与储水区15的冷水掺混,而是以溢流的方式,总保持顶部低速注入的方式,借助热分层效应,保持热水位于水面位置,削弱对储水区15中下部冷却剂的加热作用,最终实现溢流出口14向下一个水体单元传递的总是本水体单元最低温度的冷却剂的效果,借助这种冷却剂输运方式,避免了热水回收带来的水箱整体升温的不利影响,使得冷却水箱中的低温冷却水得到充分的利用。此外,采用的阵列式的溢流管设计方式,随着水位逐渐下降(因为蒸汽的排放会带来必然的冷却剂消耗),溢流管自上而下顺序打开,一方面避免在水箱内产生明显的水位差(过大的高度差会引入阻力,将对循环系统冷却能力带来一定的不利影响),也能避免热水过早的经由下方溢流管进入储水区15(热水从底部进入会强化水体整体对流和内部循环,不利于形成明显的水温上下分层),通过上述手段,使得冷却水箱可以兼顾热水回收,蒸汽排放和维持更低系统入口水温的功能,促进排热能力的提高,并最终实现安全壳内更快、更大程度的降温降压,为核电站提供了更加安全有效的事故缓解手段。

[0038] 本实施例的溢流管根据水位变化自动开关。在本实施例中,由于溢流管均由密度低于水的轻质材料制成,因而被水淹没时无论整个溢流管,或是其中的可滑动部件(浮子17b、锁定滑块17a)总的受力方向是朝上的,而水位降到其对应高度以下时,受到的合力将变为向下。因其根部与支撑板之间连接形式为铰接,于是可以借助这种机制自动开关,既保证了连通井8内的热水不会过早进入储水区15,又能保证在储水区15水位下降后能够及时打开,实现补水,并确保热水仅在储水区15的顶部缓慢注入。流道挡板18的顶端为外突结构,在浮力作用下可提供较大的力矩,有利于储水区15的水位回升时尽快关闭对应位置的

溢流管,流道挡板18临近储水区15一侧安装的由外护板16a和内护板16b共同组成的旋动槽,通过将连通井8壁面夹在其中的方式,一方面便于定位和限位,防止溢流管开合过程中变形滑脱,另外也确保热水沿着指定路线进入水箱,不会形成横向的自由扩散的流动形式。流道挡板18中部区域安装有滑轨17b和锁定滑块17a共同组成的密度自锁机构,当储水区15水位高于溢流管时,锁定滑块17a在浮子17b的带动下将溢流管自动锁定为关闭的位置状态,而当外部水位低于溢流管时,锁定滑块17a因浮子17b失去浮力而落下解锁,使得溢流管整体也得以在重力作用下变为打开状态,释放连通井8内的热水向储水区15的顶部缓慢注入。

[0039] 本实施例中,所述封闭箱体2上设置有安全阀1和排气管嘴3;安全阀1和排气管嘴3设置于连通井8顶部;所述封闭箱体2内设置有与所述封闭箱体回水的循环管路连接的循环回路出口管嘴4,所述循环回路出口管嘴4为至少两个,纵向设置于所述连通井8内。循环回路出口管嘴4可形成阵列,各管嘴方向朝斜上,仰角60-80°(定义水平方向为0°,竖直方向为90°),且不对准连通井8内任一溢流管。对于所回收的热水,如果含有过量的蒸汽,可通过排气管嘴3泄出,对于具有较高温度的液态水,会首先进入入口侧水体单元,由于各水体单元之间被水体隔板7分隔为相对独立的区域,热水不会借助传热或流动扩散混入出口侧水体单元,换言之,循环回路入口管嘴11处将长期保持在较低的温度水平(水箱初始水温),由于自然循环冷却系统的排热功率与冷侧水温直接相关,从而可以通过长期保持较低的入口水温实现长期强化系统排热能力的技术目标。

[0040] 在本实施例中,由与所述封闭箱体出水的循环管路连接的水体单元至与所述封闭箱体回水的循环管路连接的水体单元,各水体单元的储水区15容积依次成比例递增,相邻水体单元的储水区15容积递增比例为1.5-3倍,能够更好的控制各不同水温的水体单元的水量。在本实施例中,所述水体单元中连通井8的容积小于所在水体单元的储水区15,容积之比不大于1:100。

[0041] 显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若对本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其同等技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

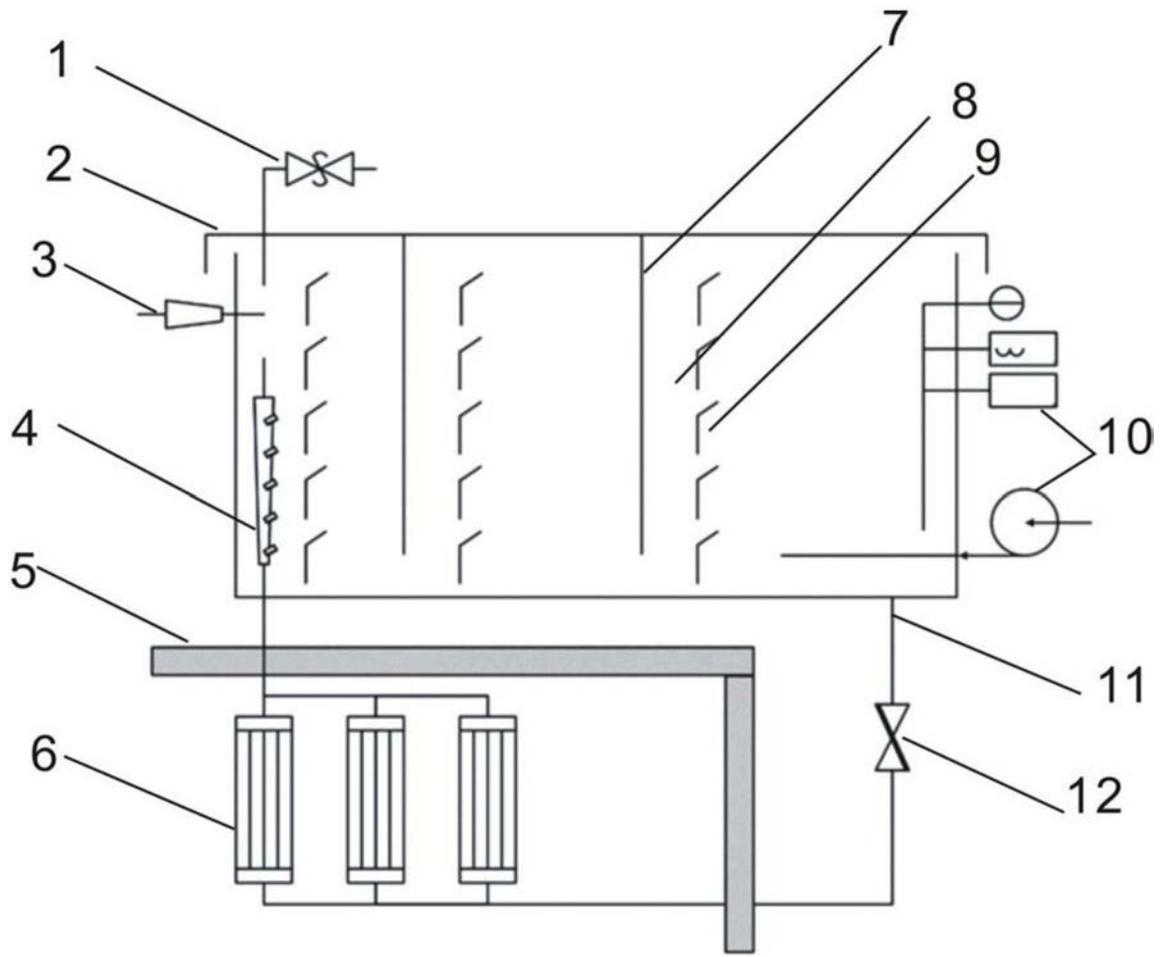


图1

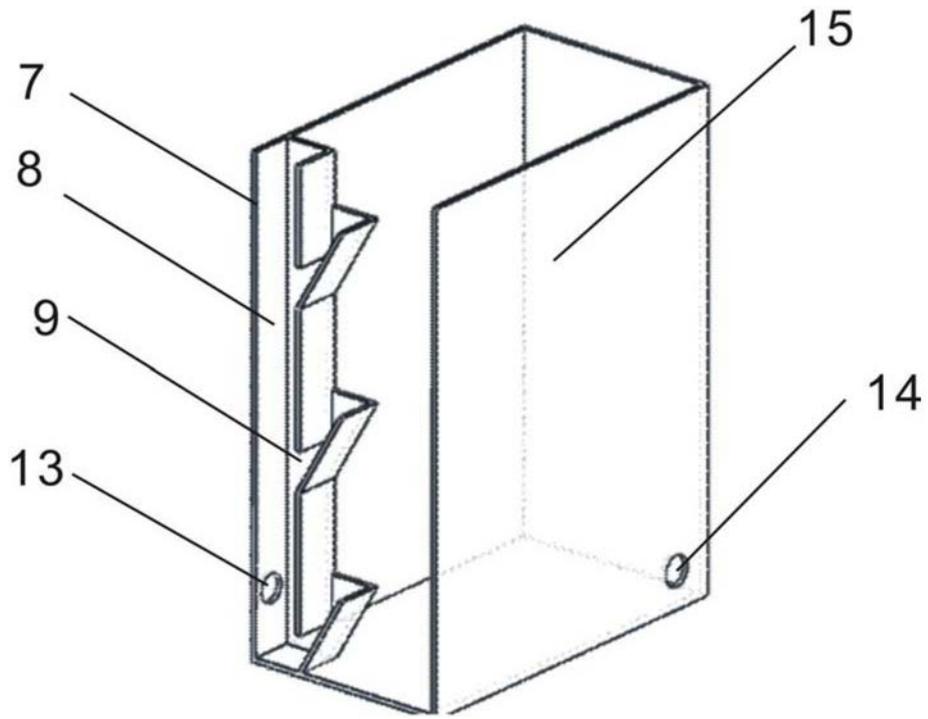


图2

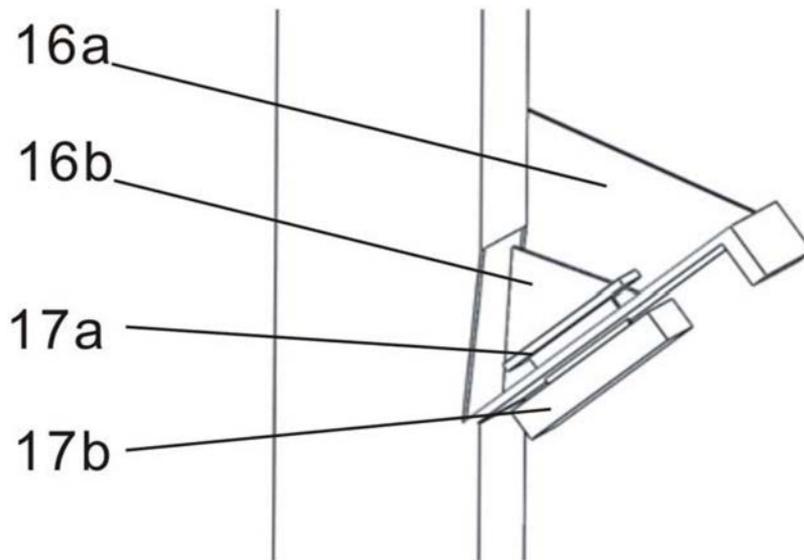


图3

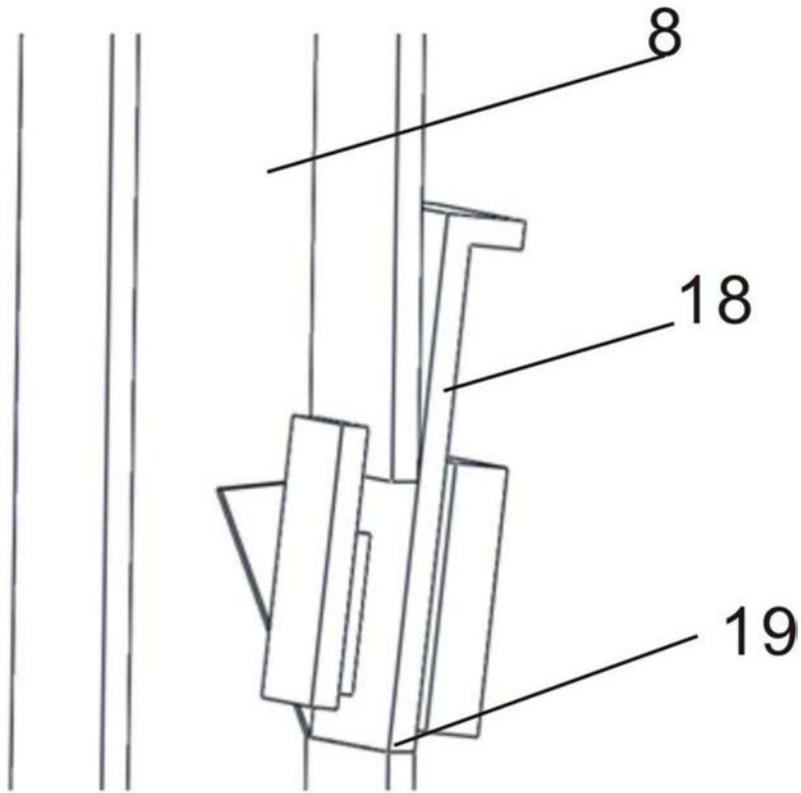


图4