

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 7 月 18 日 (18.07.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/148679 A1

- (51) 国际专利分类号:
G21C 15/18 (2006.01) **G21C 15/02** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/081974
- (22) 国际申请日: 2023 年 3 月 16 日 (16.03.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202310035643.9 2023 年 1 月 10 日 (10.01.2023) CN
- (71) 申请人: 中国核电工程有限公司(CHINA NUCLEAR POWER ENGINEERING CO., LTD.) [CN/CN]; 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。哈尔滨工程大学(HARBIN ENGINEERING UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街 145 号, Heilongjiang 150001 (CN)。
- (72) 发明人: 邢继(XING, Ji); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。孙中宁(SUN, Zhongning); 中国黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街 145 号, Heilongjiang 150001 (CN)。孟兆明(MENG, Zhaoming); 中国黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街 145 号, Heilongjiang 150001 (CN)。边浩志(BIAN, Haozhi); 中国黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街 145 号, Heilongjiang 150001 (CN)。

张楠(ZHANG, Nan); 中国黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街 145 号, Heilongjiang 150001 (CN)。丁铭(DING, Ming); 中国黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街 145 号, Heilongjiang 150001 (CN)。郭泽华(GUO, Zehua); 中国黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街 145 号, Heilongjiang 150001 (CN)。赵斌(ZHAO, Bin); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。李丽娟(LI, Lijuan); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。于沛(YU, Pei); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。王广飞(WANG, Guangfei); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。马惠昀(MA, Huiyun); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。侯婷(HOU, Ting); 中国北京市海淀区西三环北路 117 号, Beijing 100840 (CN)。

- (74) 代理人: 北京康信知识产权代理有限公司(KANGXIN PARTNERS, P.C.); 中国北京市海淀区知春路甲 48 号盈都大厦 A 座 16 层, Beijing 100098 (CN)。
- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,

(54) Title: HEAT REMOVAL SYSTEM FOR CONTAINMENT VESSEL

(54) 发明名称: 安全壳热量导出系统

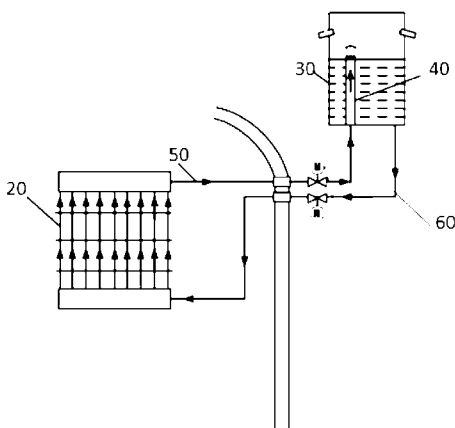


图 1

(57) Abstract: Disclosed in the present invention is a heat removal system for a containment vessel, comprising a heat exchanger provided in the containment vessel, a cooling liquid tank, and a steam collecting device provided in the cooling liquid tank. The heat exchanger is communicated with a medium in the cooling liquid tank; a medium in the heat exchanger absorbs heat of the containment vessel, and is discharged into the cooling liquid tank by means of the steam collecting device; and the medium in the cooling liquid tank returns to the heat exchanger. The steam collecting device comprises steam exhaust valve assemblies corresponding to different liquid level heights of the cooling liquid tank; each steam exhaust valve assembly is configured to be automatically opened under the action of its own force when the liquid level height is lowered, and at least part of the medium entering the steam collecting device enters the cooling liquid tank by means of the steam exhaust valve assemblies. The heat removal system for the containment vessel provided by the present application avoids the problem of reduction in heat removal capacity due to lowering of a liquid level, improves the driving force and the heat exchange capacity of the system, and can eliminate the risks such as steam hammer vibration, and two-phase flow-induced vibration and flow stagnation.



GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 本发明公开了一种安全壳热量导出系统, 包括设置在安全壳内部的换热器, 冷却液箱以及设置在冷却液箱中的集汽装置, 换热器与冷却液箱中的介质连通, 换热器中的介质吸收安全壳的热量, 通过集汽装置排入冷却液箱, 冷却液箱中的介质返回至换热器。集汽装置包括对应不同冷却液箱液位高度的排汽阀组件, 排汽阀组件设置为当液位高度降低时, 排汽阀组件在自身受力作用下自动开启, 至少部分进入集汽装置中的介质通过排汽阀组件进入冷却液箱。本申请提出的安全壳热量导出系统避免了由于液位降低导致排热能力下降的问题, 提高了系统驱动力和换热能力; 并且能够消除汽锤振动、两相流动激振和流动停滞等风险。

安全壳热量导出系统

技术领域

本发明涉及核反应堆安全领域，具体而言，涉及安全壳热量导出系统。

背景技术

安全壳是压水堆核电站的最后一道实体安全屏障。保持其完整性，防止事故下发生大量放射性物质外泄，对保证核电站安全至关重要。当核电站发生一回路大破口事故、二回路主蒸汽管道断裂等重大事故时，大量高温高压蒸汽被释放至安全壳，导致安全壳内的温度、压力快速上升，使安全壳面临超压破坏和放射性物质大规模不可控释放的风险，进而对周边环境和人员安全造成严重威胁。

为了保证安全壳的完整性，多国开展了非能动安全壳热量导出技术研究，尝试仅通过利用重力、流体密度差等自然力导出事故工况下安全壳内的巨量衰变热。针对混凝土安全壳，研究的主要方案分为闭式系统和开式系统，其中闭式系统一般主要由内部换热器、外部换热器、冷却水箱和连接管道及阀门等部件构成闭合自然循环回路，这类方案因传热环节多、结构复杂、排热能力低等原因而一直未得到工程应用。开式系统一般主要由内部换热器、冷却水箱和连接管道及阀门等部件构成开式自然循环回路，这类方案传热环节少、结构简单、排热能力相对较高。在这些开式系统方案中，存在汽锤振动、两相流动激振和流动停滞等风险，给工程应用带来较大困难。

专利 201410126253.3 在系统上升管位于水箱的部分设置了若干个安装有阀门的出口，阀门的开、关通过测量和控制系统实现，其目的是为了

消除水箱水位的不利影响。但该方案在存在剧烈水位波动的工程湿环境下缺少可行性，尤其是当发生全厂停电事故时，测量和控制系统将会失效，相应地，阀门也就无法进行正常的开和关，而应对这样的事故场景正是新一代核电系统配置非能动安全壳热量导出系统的基本出发点。

专利 202110361911.7 和 201580075448.2 的设计克服了汽锤振动等设计的缺点，但仍然存在水箱水位静压显著降低系统自然循环能力、内部换热器传热管外的不凝性气体浓缩聚集显著增加了传热热阻，这些不足制约的系统的排热能力，仅能满足应对反应堆超基准事故的需要，专利中也没有披露系统中重要设备的详细结构。

鉴于以上技术问题，特推出本发明。

发明内容

本发明的主要目的在于提供一种安全壳热量导出系统，以消除汽锤振动、两相流动激振和流动停滞等风险，并且消除冷却液箱液位的不利影响，有效降低不凝气体在换热器传热管外的聚集程度，显著提高传热管间工质流速，进而大幅度提高系统的排热能力，使其具备应对反应堆基准事故的能力。

为了实现上述目的，本发明提供了一种安全壳热量导出系统，包括设置在安全壳内部的换热器，冷却液箱以及设置在冷却液箱中的集汽装置，换热器与冷却液箱中的介质连通，换热器中的介质吸收安全壳的热量，通过集汽装置排入冷却液箱，冷却液箱中的介质返回至换热器，

集汽装置包括对应冷却液箱不同液位高度的排汽阀组件，排汽阀组件设置为当液位高度降低时，排汽阀组件在自身受力作用下自动开启，至少

部分进入集汽装置中的介质通过排汽阀组件进入冷却液箱，以平衡集汽装置内外侧静压差，增加低液位高度下系统循环驱动力。

进一步的，集汽装置包括集汽管和套设于集汽管的多级套筒，多级套筒沿液位高度方向分布，多级套筒中一级套筒位于最下部，沿液位高度往上级数依次递增，多级套筒中各个套筒可跟随液位高度变化而沿集汽管轴向移动，并且设置为当液位高度下降时，多级套筒按照由高级到低级顺次向下移动。

进一步的，集汽管的高度方向上设有多级排汽口，多级排汽口与多级套筒对应设置，排汽口和套筒组合形成了排汽阀组件，多级套筒按照由高级到低级顺次向下移动使多级排汽口由高到低顺次开启。

进一步的，集汽管的外壁套设多个限位器，限位器沿集汽管轴向分布，将集汽管轴向分割成多个独立区域，多级套筒分别设置在各个独立区域中。

进一步的，多级套筒中各个套筒之间彼此独立，并且对应不同液位高度。

进一步的，多级套筒中各个套筒均围设形成空心腔体，空心腔体在冷却液箱中受到的浮力大于套筒所受的重力。

进一步的，多级套筒中上一级套筒的内径大于下一级套筒的外径，相邻套筒彼此嵌套在一起，上一级套筒可沿下一级套筒的外壁移动。

进一步的，包括第一定位部，第一定位部套设在集汽管的外侧，第一定位部限定多级套筒的最高位置，防止多级套筒从集汽管的上部脱离集汽管。

进一步的，第一定位部上方沿集汽管的轴向限定出排汽区域，排汽区域对应的集汽管的外壁设有加固环，以增强集汽管的稳定性。

进一步的，多级套筒沿集汽管的轴向最大长度不小于排汽区域沿集汽管的轴向长度，以使多级套筒能够完全覆盖集汽管长度范围内的各个排汽口。

进一步的，还包括第四定位部，第四定位部套设在集汽管的外侧，第四定位部限定多级套筒的最低位置，防止多级套筒从集汽管下部脱离集汽管。

进一步的，各级套筒顶部设有第二定位部，相邻套筒的第二定位部相互接触，以防止上一级套筒从下一级套筒的底部脱离。

进一步的，各级套筒底部设有第三定位部，上一级套筒的第三定位部与下一级套筒的第二定位部接触，防止上一级套筒向上移动时脱离下一级套筒。

进一步的，第二定位部的内径等于集汽管的外径，第二定位部的外径等于上一级套筒的内径。

进一步的，第三定位部的内径等于下一级套筒的外径。

进一步的，第一定位部的外径等于一级套筒的内径。

进一步的，还包括导流罩，导流罩套设在多级套筒的外部。

进一步的，导流罩底部设有排液口，导流罩中的冷却介质通过排液口排出，减少对液位的扰动。

进一步的，集汽管的顶部设有汽水分离罩，汽水分离罩对集汽管出口流出的蒸汽-水混合物进行汽水分离。

进一步的，还包括支撑柱，支撑柱对汽水分离罩进行支撑，使汽水分离罩与导流罩保持预定的距离。

进一步的，换热器包括第一传热管束和第二传热管束，第一传热管束和第二传热管束两者呈镜像对称分布。

进一步的，换热器还包括分配联箱，汇流联箱，第一传热管束与分配联箱和汇流联箱连通，第二传热管束与分配联箱和汇流联箱连通，介质通过分配联箱进入第一传热管束和/或第二传热管束，并通过汇流联箱流出换热器。

进一步的，第二传热管束与第一传热管束对称设置在分配联箱和/或汇流联箱的轴向两侧，第二传热管束，第一传热管束，分配联箱以及汇流联箱围设形成了中空区域，介质在中空区域加速。

进一步的，分配联箱和汇流联箱水平设置，分配联箱和汇流联箱的开口设置在同一侧。

进一步的，第一传热管束和/或第二传热管束包括多个传热管排，多个传热管排平行布置，靠近中空区域的传热管排与远离中空区域的传热管排之间形成压力差，加速介质流动。

进一步的，传热管排包括多根传热管，多根传热管沿分配联箱和/或汇流联箱的轴向设置。

进一步的，传热管包括第一管段、第二管段以及连接第一管段和第二管段的中间管段，第一管段与汇流联箱连通，第二管段与分配联箱连通。

进一步的，第一管段的长度小于第二管段的长度。

进一步的，第二管段与中间管段的夹角为 $60-80^{\circ}$ 。

进一步的，相邻传热管之间的间距为传热管直径的 2~3 倍。

进一步的，换热器包括支撑隔板，支撑隔板设置在传热管之间，与传热管的中间管段垂直。

进一步的，还包括上升管段和下降管段，上升管段连接汇流联箱和冷却液箱，下降管段连接冷却液箱和分配联箱。

本发明提出的安全壳热量导出系统，实现了如下技术效果：

1、本发明中安全壳热量导出系统采用的集汽装置不仅能够完全消除汽-液两相流动阶段发生汽锤振动、两相流动激振和流动停滞的风险，而且能够以非能动的方式自动平衡集汽管内侧和外侧之间的静压差，进而消除冷却液箱液位对非能动安全壳热量导出系统自然循环流动产生的不利影响。

2、本发明中安全壳热量导出系统采用的换热器，在不增加换热器制造难度的前提下，不仅使流动阻力显著降低，而且结构紧凑，传热管内、外侧的传热都得到显著强化，使其成为流动阻力小、换热能力强的高效换热器。

3、本发明通过优化安全壳热量导出系统配置，显著增强了系统的流动稳定性和自然循环能力，大幅度提高了非能动安全壳热量导出系统的排热功率水平，使其具备应对反应堆基准事故的能力。

4、本发明中安全壳热量导出系统组成简单，集汽装置便于拆装，并且系统稳定性强。

附图说明

构成本发明的一部分的说明书附图用来提供对本发明的进一步理解，本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明，并不构成对本发明的不当限定。在附图中：

图 1 示出本发明安全壳热量导出系统结构示意图；

图 2 示出了本发明实施例 1 的集汽装置结构示意图；

图 3 示出了本发明实施例换热器整体结构正视图；

图 4 示出了本发明实施例换热器侧视图；

图 5 示出了本发明实施例换热管排布结构示意图；

图 6 示出了本发明实施例单根换热管结构示意图；

图 7 示出了本发明实施例换热器排热功率随安全壳压力的变化趋势；

图 8 示出了本发明实施例反应堆假想事故下安全壳内压力随时间趋势图；

图 9 示出了本发明实施例 2 集汽装置结构示意图；

图 10 示出了本发明实施例 2 集汽装置中多级套筒结构示意图；

图 11 示出了本发明实施例 2 集汽装置俯视图；

图 12 示出了本发明实施例 2 集汽装置中定位结构示意图；

图 13 示出了本发明实施例 2 集汽装置中位于套筒上部和下部的定位结构示意图。

其中，上述附图包括以下附图标记：

20、换热器；30、冷却液箱；40、集汽装置；480、排汽阀组件；410、集汽管；415、限位器；420、套筒；460、排汽口；416、第一定位部；411、加固环；418、第四定位部；422、第二定位部；424、第三定位部；430、导流罩；431、排液口；440、汽水分离罩；450、支撑柱；230、第一传热管束；240、第二传热管束；210、分配联箱；220、汇流联箱；234、传热管排；2342、传热管；2344、第一管段；2346、第二管段；2348、中间管段；260、支撑隔板；50、上升管段；60、下降管段。

具体实施方式

需要说明的是，在不冲突的情况下，本发明中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本发明。

以下结合具体实施例对本发明作进一步详细描述，这些实施例不能理解为限制本发明所要求保护的范围。术语“包括”在使用时表明存在特征，但不排除存在或增加一个或多个其它特征；术语“横向”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制；此外，术语“第一”、“第二”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性。

在描述中，需要说明的是，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。此外，在本发明的描述中，除非另有说明，“多个”的含义是两个或两个以上。

实施例 1:

本申请提出了一种安全壳热量导出系统，如图 1 所示，该安全壳热量导出系统包括设置在安全壳内部的换热器 20，冷却液箱 30 以及设置在冷却液箱 30 中的集汽装置 40，换热器 20 与冷却液箱 30 中的介质连通。换热器 20 中的介质吸收安全壳的热量，通过集汽装置 40 排入冷却液箱 30，冷却液箱 30 中的介质返回至换热器 20，形成了循环回路。

随着安全壳中热量不断导出，冷却液箱 30 中的介质不断蒸发，进而导致液位下降，系统循环驱动力下降，排热能力下降。为了避免这种情况，本申请提出了一种集汽装置，以消除液位降低的不利影响。

如图 2 所示，集汽装置 40 包括对应冷却液箱 30 不同液位高度的排汽阀组件 480，排汽阀组件 480 设置为当液位高度降低时，排汽阀组件 480 在自身受力作用下自动开启，至少部分进入集汽装置 40 中的介质通过排汽阀组件 480 进入冷却液箱 30，以平衡集汽装置 40 内外侧静压差，增加低液位高度下系统循环驱动力。本申请中排汽阀组件 480 自身受力作用主要包括排汽阀组件在冷却介质中所受浮力和自身重力。本申请中冷却介质包括但不限于水介质。

具体来说，集汽装置 40 为圆桶形结构，包括集汽管 410 和套设于集汽管 410 的多级套筒 420，多级套筒 420 沿液位高度方向分布，多级套筒中一级套筒位于最下部，沿液位高度往上级数依次递增，多级套筒 420 中各个套筒可跟随液位高度变化而沿集汽管 410 轴向移动，并且设置为当液位高度下降时，多级套筒按照由高级到低级顺次向下移动。

集汽管 410 的高度方向上设有多级排汽口，多级排汽口与多级套筒对应设置，排汽口 460 和套筒 420 组合形成了排汽阀组件 480，多级套筒 420 按照由高级到低级顺次向下移动使多级排汽口 460 由高到低顺次开启。

当冷却液箱液位高于预定值时，由于套筒受到的冷却介质的浮力大于自身重力，套筒完全覆盖排汽口，进入集汽管的蒸汽-水混合物由顶部排出；当冷却液箱液位低于预定值且下降过程时，由于冷却液箱液位下降，套筒所受的浮力减小，自身重力大于所受到的浮力，至少一个套筒沿集汽管的轴向向下移动，使至少一个排汽口开启，进入集汽管的至少部分蒸汽-水混合物由排汽口排出。

本申请提出的集汽装置，利用套筒浮力随液位变化而改变，实现套筒沿集汽管轴向移动，从而控制排汽口的自动开启和闭合，保证了低液位下系统的排热能力，促进了系统自然循环。

在该申请的一个实施例中集汽管 410 的外壁套设多个限位器 415，限位器 415 沿集汽管 410 轴向分布，将集汽管 410 轴向分割成多个独立区域，多级套筒 420 中各个套筒之间彼此独立且分别设置在各个独立区域中，对应不同液位高度，以响应冷却介质液位高度的变化。限位器 415 限定了套筒上下移动的最大位移，避免套筒脱离集汽管。本申请中限位器 415 包括但不限于挡板结构。

当冷却液箱 30 中的冷却液处于满液位时，所有的套筒都会在浮力的作用下处于上限位器位置，使排汽口处于关闭状态，从而避免集汽装置上部出口的蒸汽与冷却液箱 30 里的冷却介质直接接触，当冷却液箱 30 里的冷却介质因非能动安全壳热量导出系统排热而大量蒸发时，其中的冷却介质液位下降，首先是最上一级的排汽阀组件 480 中的套筒因浮力的下降而逐渐向下移动，直至下限位器位置。在此过程中，相应的排汽口被打开，使集汽管 410 内侧和外侧之间的压力基本维持平衡。随着冷却介质液位的进一步持续下降，剩余的套筒会依次重复最上一级套筒的动作，以非能动的方式自动调节排汽口的开启和关闭状态。一方面，可以避免发生具有破坏性风险的汽锤振动和两相流动激振，并同时消除冷却液箱 30 中液位对系统自然循环产生的不利影响，防止发生自然循环流动停滞现象，显著提高系统的自然循环流量和流动稳定性。

为保证套筒随浮力变化沿集汽管轴向移动，多级套筒 420 中各个套筒围设形成空心腔体，空心腔体在冷却液箱 30 中受到的浮力大于套筒所受的重力。

另外，如图 2 所示，集汽装置还包括导流罩 430，导流罩 430 套设在多级套筒 420 的外部，导流罩 430 与集汽管 410 同心布置，避免冷却液箱内液位变化对冷却液箱的冲击。导流罩 430 底部设有排液口 431，蒸汽-水混合物进入导流罩 430 导致液位上升，导流罩 430 中的冷却介质通过排液口 431 排出，减少蒸汽-水混合物对冷却液箱液位的扰动，保证系统自然循环驱动稳定性。

此外，集汽管 410 的顶部设有汽水分离罩 440，汽水分离罩 440 对集汽管 410 出口流出的蒸汽-水混合物进行汽水分离。分离出的液相进入导流罩 430，以避免集汽管上部出口高速流体对冷却液箱产生过大的冲击载荷，并减少汽流对液相的夹带损失。本申请中汽水分离罩 440 为弧形结构。

为使汽水分离罩 440 与导流罩 430 保持预定的距离,提高汽水分离效果,集汽装置还包括支撑柱 450,支撑柱 450 对汽水分离罩 440 进行支撑。

为提高系统传热系数,改善传热效果,本申请对换热器结构进行创新性设计,使多种强化传热效应相互耦合。

具体来说,如图 3 所示,换热器 20 包括第一传热管束 230 和第二传热管束 240,第一传热管束 230 和第二传热管束 240 两者呈镜像对称分布。

换热器 20 还包括分配联箱 210,汇流联箱 220,第一传热管束 230 与分配联箱 210 和汇流联箱 220 连通,第二传热管束 240 与分配联箱 210 和汇流联箱 220 连通,介质通过分配联箱 210 进入第一传热管束 230 和/或第二传热管束 240,并通过汇流联箱 220 流出换热器 20。

第二传热管束 240 与第一传热管束 230 对称设置在分配联箱 210 和/或汇流联箱 220 的轴向两侧,第二传热管束 240,第一传热管束 230,分配联箱 210 以及汇流联箱 220 围设形成了中空区域,介质在中空区域加速。进入传热管束中上部的不凝性气体在重力的作用下竖直向下流动,在换热器中空桶状区域形成密度相对较高的流体加速区,使蒸汽-空气混合物最终能够以较高的流速横掠冲刷传热管束下部管段,进而使换热器的管外冷凝传热得到进一步强化。

另外,如图 4 所示,换热器中分配联箱 210 和汇流联箱 220 水平设置,使换热器外侧含有大量不凝性气体的蒸汽能够比较顺畅地进入传热管束区,发生凝结换热;并且分配联箱 210 和汇流联箱 220 的开口设置在同一侧,不仅可以最大限度减小换热器进/出口的涡流损失,提高换热能力,并且便于换热器与其他部件联接。优选的,本申请中分配联箱 210 和汇流联箱 220 均采用一端带封头、另一端带进/出口的管结构。这样介质在换热器

内的流路呈“U”型，有利于提高传热管间流量分配的均匀性，降低换热器流动阻力、提高换热能力。

进一步的，结合图 5 和图 3 所示，本申请中第一传热管束 230 和/或第二传热管束 240 包括多个传热管排 234，多个传热管排 234 平行布置。优选的，本实施例中管排总数为 3~5 排。随着蒸汽的不断凝结，靠近中空区域的传热管排 234 与远离中空区域的传热管排 234 之间形成压力差，这种压差起到加速汽流流动的效果，使传热得到有效强化。

另外，传热管排 234 包括多根传热管 2342，多根传热管 2342 沿分配联箱 210 和/或汇流联箱 220 的轴向设置。如图 5 所示，这样相邻传热管形成了节距 a 和 b，本实施例中节距 a 和 b 可以相同，也可以不相同，传热管节距优选为 2~3 倍传热管直径，其中 a 优选 2 倍传热管直径，b 优选 3 倍传热管直径。

为进一步提高换热效率，本申请换热器由不等边 C 型传热管组成。具体来说，如图 6 所示，传热管 2342 包括第一管段 2344、第二管段 2346 以及连接第一管段 2344 和第二管段 2346 的中间管段 2348，第一管段 2344 与汇流联箱 220 连通，第二管段 2346 与分配联箱 210 连通。优选的，第一管段 2344 的长度小于第二管段 2346 的长度。第二管段 2346 与中间管段 2348 的夹角为 $60-80^{\circ}$ 。这样，换热器端面呈现梯形结构，轴向呈多边中空结构。进入第一管段 2344 和中间管段 2348 的不凝性气体在重力的作用下竖直向下流动，在换热器中空区域形成密度相对较高的流体加速区，使蒸汽-空气混合物最终能够以较高的流速横掠冲刷位移下部的第二管段 2346，进而使换热器的冷凝传热得到进一步强化。

此外，如图 3 所示，本申请中换热器 20 还设有支撑隔板 260，支撑隔板 260 设置在传热管 2342 之间，与传热管 2342 的中间管段 2348 垂直。

一方面，支撑隔板 260 起到支撑传热管束的作用，防止传热管发生流动激振，另一方面，支撑隔板 260 对管外凝结液和管壁附近聚集的不凝性气体起到疏导分流作用，使凝结液膜厚度和不凝性气体膜厚度减薄，进而达到减小传热热阻，起到强化传热的效果。优选的，本申请中换热器包括多个支撑隔板 260，支撑隔板 260 呈长窄条状，相邻导流支撑隔板优选间距大于 0.5m。

另一方面，如图 1 所示，安全壳热量导出系统还包括上升管段 50 和下降管段 60，上升管段 50 连接汇流联箱 220 和冷却液箱 30，下降管段 60 连接冷却液箱 30 和分配联箱 210。下降管段 60、上升管段 50 和换热器 20 构成了安全壳热量导出系统的主要流动阻力件，设计时应合理分配各项流动阻力占比，避免其中某一项或两项的阻力占比过大，优选的上升管段 50 的直径应大于下降管段 60 的直径，以使回路不会因为流动阻力过大而导致自然循环能力不足，进而降低系统的排热能力。

此外，安全壳热量导出系统还包括分别位于上升管段 50 和下降管段 60 的隔离阀，在正常情况下这些阀门保持常开状态，当安全壳热量导出系统中位于安全壳内侧的管路或设备发生泄漏时，关闭隔离阀，以保持安全壳承压边界的完整性，避免安全壳内的放射物质泄漏到外部环境。

以下对安全壳热量导出系统的组成做详细说明。

换热器 20 安装在安全壳的内壁面上，处于操作平台以上位置，冷却液箱 30 设置在安全壳外侧相对于换热器 20 更高的位置，使两者之间保持足够的高度差。下降管段 60 的上端与冷却液箱 30 出口相联，下端与换热器 20 进口相联，相应地，上升管段 50 的上端与冷却液箱 30 入口相联，下端与换热器 20 出口相联，集汽装置 40 安装在冷却液箱 30 内部，冷却

液箱 30 通过位于底部的法兰与上升管段 50 出口相联。下降管段 60 和上升管段 50 上的隔离阀均设置在安全壳外侧。

安全壳热量导出系统在投入运行时，冷却液箱 30 里的冷却液通过下降管段 60 流入换热器 20 管侧，安全壳内的蒸汽在换热器 20 传热管外表面凝结，所释放出的汽化潜热传递给传热管内的冷却液，使其在流动的过程中温度不断升高。温度升高后的冷却介质进入上升管段 50，直至流回冷却液箱 30。系统中介质流体的流动仅依靠下降管段 60 和上升管段 50 中介质流体的密度差提供驱动力，没有外部动力输入，处于自然循环流动状态。当冷却液箱中的冷却介质温度较低时，系统处于单相自然循环状态，并将安全壳内的衰变热导入冷却液箱 30。当冷却液箱 30 中冷却介质的温度升至当地压力下的饱和温度后，系统进入两相自然循环状态，所产生的蒸汽-水混合物通过冷却液箱 30 上的排汽孔排入大气，实现非能动热量导出。

基于已完成的单项实验结果和经过实验验证的计算分析程序，对本发明优选方案下和现有技术下的安全壳热量导出系统进行了对比计算分析，得到单台换热器排热功率随安全壳压力的变化情况如图 7 所示，得到在最严重反应堆假想事故下安全壳内压力随时间的变化情况如图 8 所示。可以看到，本发明单台换热器的换热功率比现有技术下单台换热器的换热功率成倍增加，本发明系统保证事故后安全壳内的压力能在 24 小时以内降至设计压力（0.52MPa 绝对压力）的二分之一以下，并长期保持稳定，满足应对基准事故要求，而基于现有技术的系统只能将安全壳内的压力控制在 0.35MPa 附近波动，仅满足应对超设计基准事故的需要。

综上所述，本实施例提出的安全壳热量导出系统，实现了如下技术效果：

1、本发明中安全壳热量导出系统采用的集汽装置不仅能够完全消除汽-液两相流动阶段发生汽锤振动、两相流动激振和流动停滞的风险，而且能够以非能动的方式自动平衡集汽管内侧和外侧之间的静压差，进而消除冷却液箱液位对非能动安全壳热量导出系统自然循环流动产生的不利影响。

2、本发明中安全壳热量导出系统采用的换热器，在不增加换热器制造难度的前提下，不仅使流动阻力显著降低，而且结构紧凑，传热管内、外侧的传热都得到显著强化，使其成为流动阻力小、换热能力强的高效换热器。

3、本发明通过优化安全壳热量导出系统配置，显著增强了系统的流动稳定性和自然循环能力，大幅度提高了非能动安全壳热量导出系统的排热功率水平，使其具备应对反应堆基准事故的能力。

4、本发明中安全壳热量导出系统组成简单，集汽装置便于拆装，并且系统稳定性强。

实施例 2

本实施例中安全壳热量导出系统与实施例 1 基本相同，如图 9 所示，套筒 420 和位于集汽管 410 外壁上的排汽口 460 构成排汽阀组件 480，区别在于，结合图 10 和图 11 所示，该实施例中多级套筒 420 中上一级套筒的内径大于下一级套筒的外径，相邻套筒 420 彼此嵌套在一起，上一级套筒可沿下一级套筒的外壁移动。

为避免多级套筒 420 脱离集汽管 410，本申请提出了集汽装置限位结构。

具体来说，如图 12 所示，集汽装置包括第一定位部 416，第一定位部 416 套设在集汽管 410 的外侧，第一定位部 416 限定多级套筒的最高位置，防止多级套筒从集汽管 410 的上部脱离集汽管 410。本申请中第一定位部 416 位于集汽管的下部区域。优选的，第一定位部 416 焊接在集汽管 410 的外侧，第一定位部 416 为环形结构。第一定位部 416 的外径等于一级套筒的内径。

第一定位部 416 上方沿集汽管 410 的轴向限定出排汽区域，如图 10 所示，排汽区域对应的集汽管 410 的外壁设有加固环 411，以增强集汽管 410 的稳定性。

另外，如图 10 所示，集汽装置还包括第四定位部 418，第四定位部 418 套设在集汽管 410 的外侧，第四定位部 418 限定多级套筒 420 的最低位置，防止多级套筒 420 从集汽管 410 下部脱离集汽管 410。

本申请中第四定位部 418 为限位法兰，第四定位部 418 位于集汽管 10 底部靠近进口位置，并且低于第一定位部 416 的位置。

结合图 10 和图 12 所示，第一定位部 416 和第四定位部 418 沿集汽管 410 的轴向限定出非排汽区域，第一定位部 416 以上沿集汽管 410 的轴向限定出排汽区域。在非排汽区域集汽管的外壁不设有排汽口，在排汽区域集汽管的外壁设有排汽口。

如图 10 所示，多级套筒 420 沿集汽管 410 的轴向最大长度不小于排汽区域沿集汽管 410 的轴向长度，当冷却液箱中满液位时，多级空心套筒高度不小于集汽管 410 的高度，多级空心套筒能够完全遮挡排汽区域内的各个排汽口 460，暴露非排汽区域。另外，一级套筒的高度大于非排汽区

域沿集汽管轴向的长度，在冷却液箱内无液位时，一级套筒可完全覆盖非排汽区域。

此外，为了防止多级套筒之间脱节，本申请在各级套筒设置定位部。

具体来说，如图 13 所示，各级套筒顶部设有第二定位部 422，相邻套筒的第二定位部 422 相互接触，以防止上一级套筒从下一级套筒的底部脱离。优选的，本申请第二定位部 422 为环状结构，第二定位部 422 的内径等于集汽管 410 的外径，第二定位部 422 的外径等于上一级套筒的内径。

另外，各级套筒底部设有第三定位部 424，上一级套筒的第三定位部 424 与下一级套筒的第二定位部 422 接触，防止上一级套筒向上移动时脱离下一级套筒。优选的，本申请第三定位部 424 为环状结构，第三定位部 424 的内径等于下一级套筒的外径，第三定位部 424 的外径为该级套筒的外径。

本申请中，第二定位部 422 和第三定位部 424 与各级套筒 420 可拆卸连接。优选的，第二定位部 422 和第三定位部 424 由铆钉固定在套筒 420 上，便于拆装。

当上一级套筒在浮力大于自身重力时，上一级套筒向上移动，并试图逃离下一级套筒，此时，下一级套筒的第二定位部与上一级套筒的第三定位部抵靠，防止上一级套筒从下一级套筒的顶部脱离下一级套筒。最低级套筒的第三定位部与第一定位部抵靠，防止多级套筒在浮力作用下脱离集汽管。

当上一级套筒在浮力小于自身重力时，上一级套筒向下移动，并试图逃离下一级套筒，此时，下一级套筒的第二定位部与上一级套筒的第二定位

部抵靠，防止上一级套筒从下一级套筒的底部离开。多级套筒由高到低依次向下移动，最终落在第四定位部的上方。

综上所述，本实施例提出的集汽装置，实现了如下技术效果：

1、套筒在冷却介质中所受的浮力和自身重力作用下，跟随液位变化沿集汽管轴向移动，实现排汽口的开启和闭合，保证了低液位下系统的排热能力；2、采用多级套筒嵌套的方式，并设置多个定位板，避免多级套筒彼此脱离，保证了结构的稳定性；3、本申请提出的安全壳导热集汽装置结构简单，便于拆装和维护；4、通过优化多级套管结构，使得多级套筒将排汽区域全部遮挡，提高了上升段高度，从而增加了自然循环两相段长度，增加了系统驱动力与排热能力。

以上所述仅为本发明的优选实施例而已，并不用于限制本发明，对于本领域的技术人员来说，本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种安全壳热量导出系统,包括设置在所述安全壳内部的换热器(20),冷却液箱(30)以及设置在所述冷却液箱(30)中的集汽装置(40),所述换热器(20)与所述冷却液箱(30)中的介质连通,所述换热器(20)中的介质吸收所述安全壳的热量,通过所述集汽装置(40)排入所述冷却液箱(30),所述冷却液箱(30)中的介质返回至所述换热器(20),

其特征在于,所述集汽装置(40)包括对应所述冷却液箱(30)不同液位高度的排汽阀组件(480),所述排汽阀组件(480)设置为当所述液位高度降低时,所述排汽阀组件(480)在自身受力作用下自动开启,至少部分进入所述集汽装置(40)中的介质通过所述排汽阀组件(480)进入所述冷却液箱(30),以平衡所述集汽装置(40)内外侧静压差,增加低液位高度下系统循环驱动力。

2. 根据权利要求1所述的安全壳热量导出系统,其特征在于,所述集汽装置(40)包括集汽管(410)和套设于所述集汽管(410)的多级套筒,所述多级套筒沿所述液位高度方向分布,所述多级套筒中一级套筒位于最下部,沿所述液位高度往上级数依次递增,所述多级套筒中各个套筒可跟随所述液位高度变化而沿所述集汽管(410)轴向移动,并且设置为当所述液位高度下降时,所述多级套筒按照由高级到低级顺次向下移动。
3. 根据权利要求2所述的安全壳热量导出系统,其特征在于,所述集汽管(410)的高度方向上设有多级排汽口(460),所述多级排汽口(460)

与所述多级套筒(420)对应设置,所述排汽口(460)和所述套筒(420)组合形成了所述排汽阀组件(480),所述多级套筒(420)按照由高级到低级顺次向下移动使所述多级排汽口(460)由高到低顺次开启。

4. 根据权利要求3所述的安全壳热量导出系统,其特征在于,所述集汽管(410)的外壁套设多个限位器(415),所述限位器(415)沿所述集汽管(410)轴向分布,将所述集汽管(410)轴向分割成多个独立区域,所述多级套筒(420)分别设置在各个所述独立区域中。
5. 根据权利要求4所述的安全壳热量导出系统,其特征在于,所述多级套筒(420)中各个套筒之间彼此独立,并且对应不同所述液位高度。
6. 根据权利要求2或3所述的安全壳热量导出系统,其特征在于,所述多级套筒(420)中各个所述套筒(420)均围设形成空心腔体,所述空心腔体在所述冷却液箱(30)中受到的浮力大于所述套筒(420)所受的重力。
7. 根据权利要求3所述的安全壳热量导出系统,其特征在于,所述多级套筒(420)中上一级所述套筒的内径大于下一级所述套筒的外径,相邻所述套筒彼此嵌套在一起,上一级所述套筒可沿下一级所述套筒的外壁移动。
8. 根据权利要求2或3所述的安全壳热量导出系统,其特征在于,包括第一定位部(416),所述第一定位部(416)套设在所述集汽管(410)

的外侧，所述第一定位部（416）限定所述多级套筒的最高位置，防止所述多级套筒从所述集汽管（410）的上部脱离所述集汽管（410）。

9. 根据权利要求 8 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述第一定位部（416）上方沿所述集汽管（410）的轴向限定出排汽区域，所述排汽区域对应的所述集汽管（410）的外壁设有加固环（411），以增强所述集汽管（410）的稳定性。
10. 根据权利要求 9 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，多级套筒（200）沿所述集汽管（410）的轴向最大长度不小于所述排汽区域沿所述集汽管（410）的轴向长度，以使所述多级套筒（200）能够完全覆盖集汽管（410）长度范围内的各个所述排汽口（460）。
11. 根据权利要求 2 或 3 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，还包括第四定位部（418），所述第四定位部（418）套设在所述集汽管（410）的外侧，所述第四定位部（418）限定所述多级套筒（420）的最低位置，防止所述多级套筒（420）从所述集汽管（410）下部脱离所述集汽管（410）。
12. 根据权利要求 2 或 3 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，各级套筒顶部设有第二定位部（422），相邻套筒的所述第二定位部（422）相互接触，以防止上一级套筒从下一级套筒的底部脱离。

13. 根据权利要求 12 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，各级套筒底部设有第三定位部（424），上一级套筒的所述第三定位部（424）与下一级套筒的第二定位部（422）接触，防止上一级套筒向上移动时脱离下一级套筒。
14. 根据权利要求 12 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述第二定位部（422）的内径等于所述集汽管（410）的外径，所述第二定位部（422）的外径等于上一级所述套筒的内径。
15. 根据权利要求 13 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述第三定位部（424）的内径等于下一级所述套筒的外径，所述第三定位部（424）的外径为该级套筒的外径。
16. 根据权利要求 9 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述第一定位部（416）的外径等于所述一级套筒的内径。
17. 根据权利要求 2 或 3 所述的安全壳热量导出系统置，其特征在于，还包括导流罩（430），所述导流罩（430）套设在所述多级套筒（420）的外部。
18. 根据权利要求 17 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述导流罩（430）底部设有排液口（431），所述导流罩（430）中的冷却介质通过所述排液口（431）排出，减少对所述液位的扰动。

19. 根据权利要求 18 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述集汽管（410）的顶部设有汽水分离罩（440），所述汽水分离罩（440）对所述集汽管（410）出口流出的蒸汽-水混合物进行汽水分离。
20. 根据权利要求 19 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，还包括支撑柱（450），所述支撑柱（450）对所述汽水分离罩（440）进行支撑，使所述汽水分离罩（440）与所述导流罩（430）保持预定的距离。
21. 根据权利要求 1 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述换热器（20）包括第一传热管束（230）和第二传热管束（240），所述第一传热管束（230）和所述第二传热管束（240）两者呈镜像对称分布。
22. 根据权利要求 21 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述换热器（20）还包括分配联箱（210），汇流联箱（220），所述第一传热管束（230）与所述分配联箱（210）和所述汇流联箱（220）连通，所述第二传热管束（240）与所述分配联箱（210）和所述汇流联箱（220）连通，介质通过所述分配联箱（210）进入所述第一传热管束（230）和/或所述第二传热管束（240），并通过所述汇流联箱（220）流出所述换热器（20）。
23. 根据权利要求 22 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述第二传热管束（240）与所述第一传热管束（230）对称设置在所述分配联箱（210）和/或所述汇流联箱（220）的轴向两侧，所述第二传热管束（240），所述第一传热管束（230），所述分配联箱（210）以及所述汇流联箱（220）围设形成了中空区域，所述介质在中空区域加速。

24. 根据权利要求 23 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述分配联箱（210）和所述汇流联箱（220）水平设置，所述分配联箱（210）和所述汇流联箱（220）的开口设置在同一侧。
25. 根据权利要求 23 或 24 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述第一传热管束（230）和/或所述第二传热管束（240）包括多个传热管排（234），所述多个传热管排（234）平行布置，靠近所述中空区域的所述传热管排（234）与远离所述中空区域的所述传热管排（234）之间形成压力差，加速介质流动。
26. 根据权利要求 24 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述传热管排（234）包括多根传热管（2342），多根传热管（2342）沿所述分配联箱（210）和/或所述汇流联箱（220）的轴向设置。
27. 根据权利要求 26 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述传热管（2342）包括第一管段（2344）、第二管段（2346）以及连接所述第一管段（2344）和所述第二管段（2346）的中间管段（2348），所述第一管段（2344）与所述汇流联箱（220）连通，所述第二管段（2346）与所述分配联箱（210）连通。
28. 根据权利要求 27 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述第一管段（2344）的长度小于所述第二管段（2346）的长度。

29. 根据权利要求 28 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述第二管段（2344）与所述中间管段（2348）的夹角为 $60-80^{\circ}$ 。
30. 根据权利要求 26-28 任一项所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，相邻所述传热管（2342）之间的间距为所述传热管（2342）直径的 $2\sim 3$ 倍。
31. 根据权利要求 26 或 27 所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，所述换热器（20）包括支撑隔板（260），所述支撑隔板（260）设置在所述传热管（2342）之间，与所述传热管（2342）的中间管段（2348）垂直。
32. 根据权利要求 22-24 任一项所述的安全壳热量导出系统，其特征在于，还包括上升管段（50）和下降管段（60），所述上升管段（50）连接所述汇流联箱（220）和所述冷却液箱（30），所述下降管段（60）连接所述冷却液箱（30）和所述分配联箱（210）。

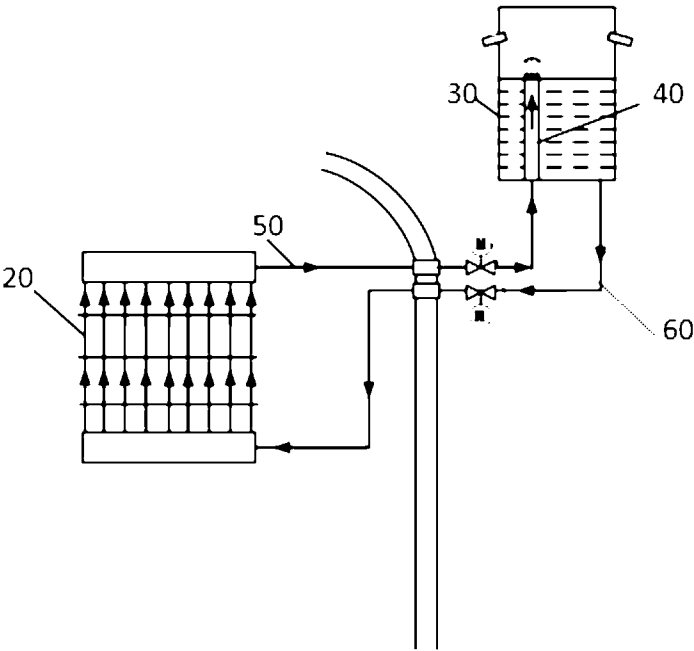


图 1

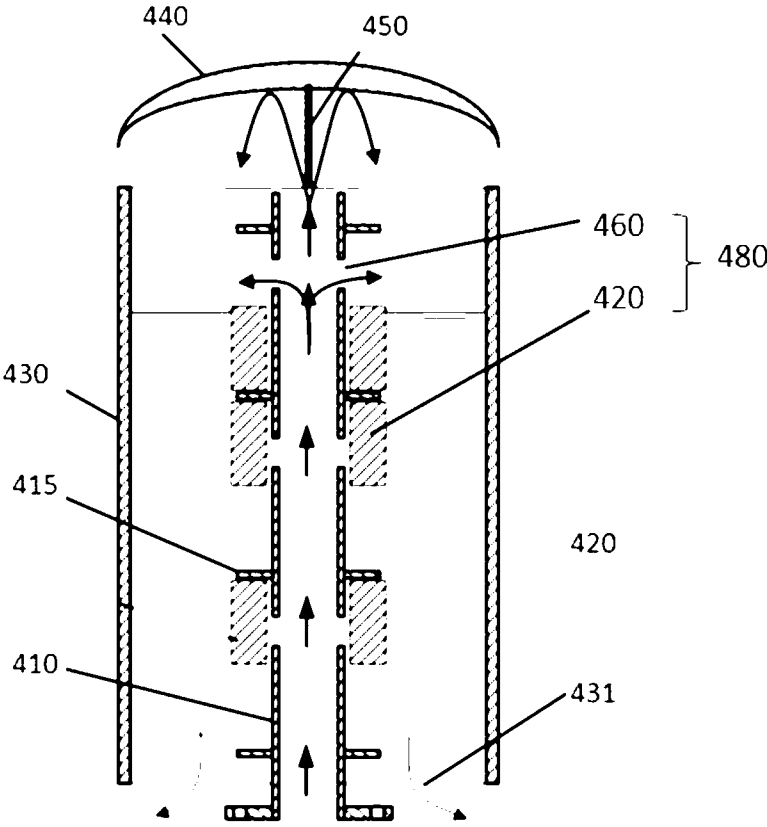


图 2

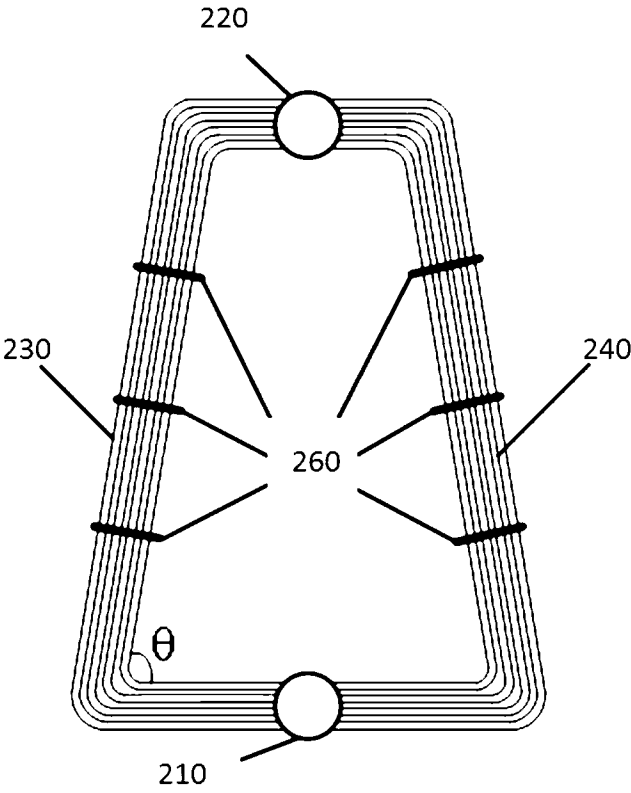


图 3

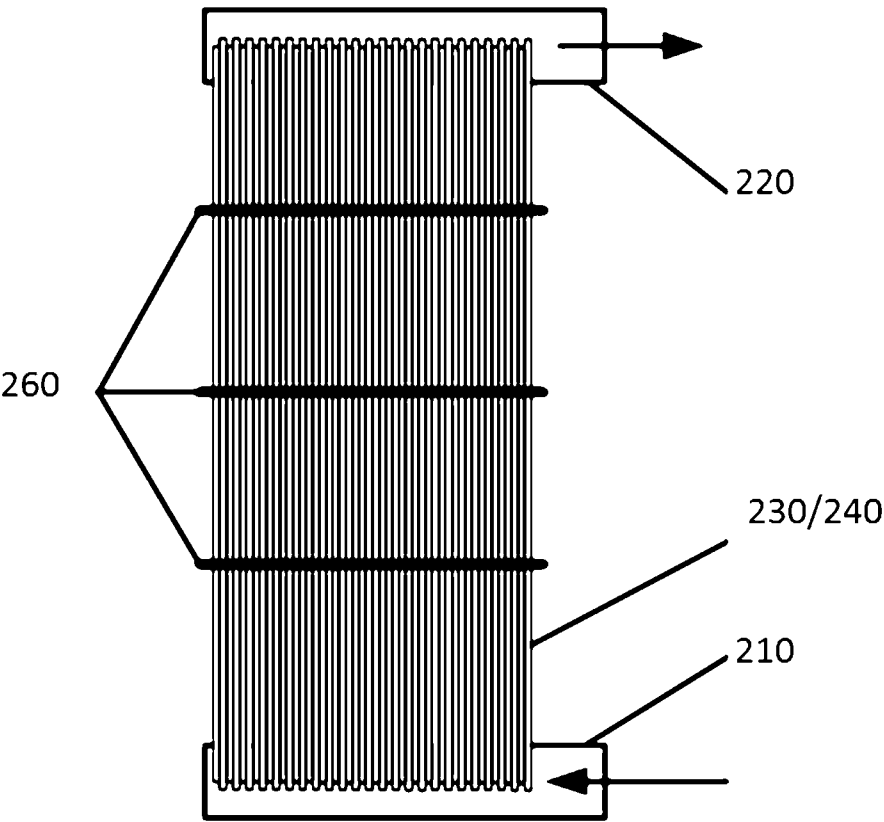


图 4

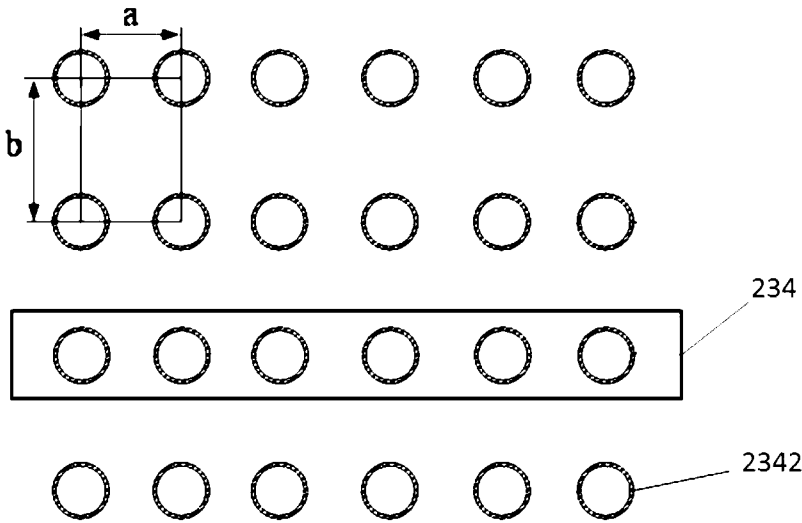


图 5

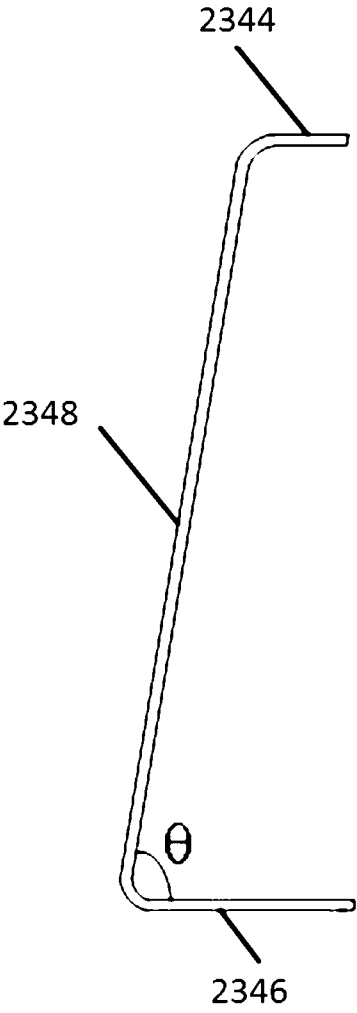


图 6

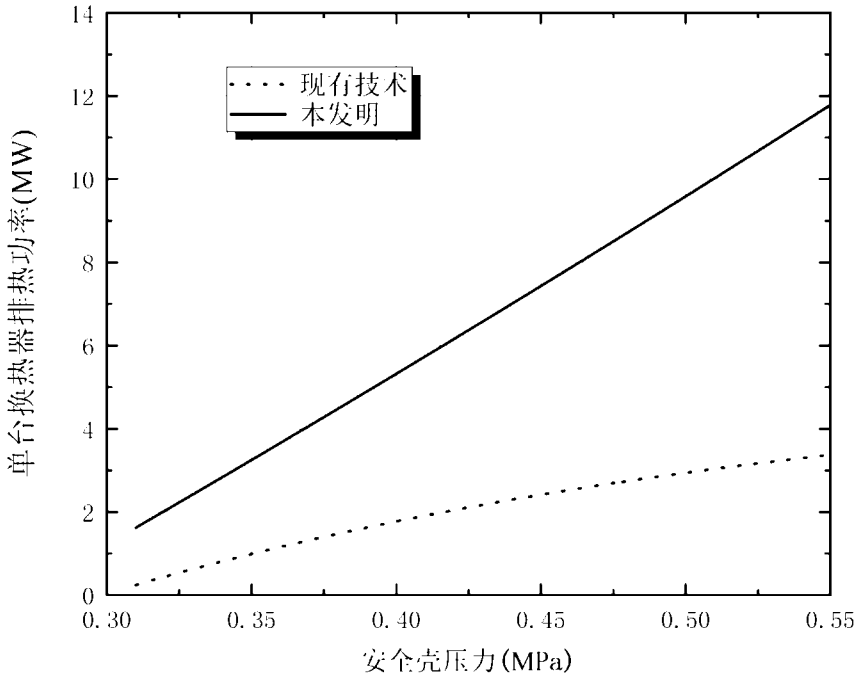


图 7

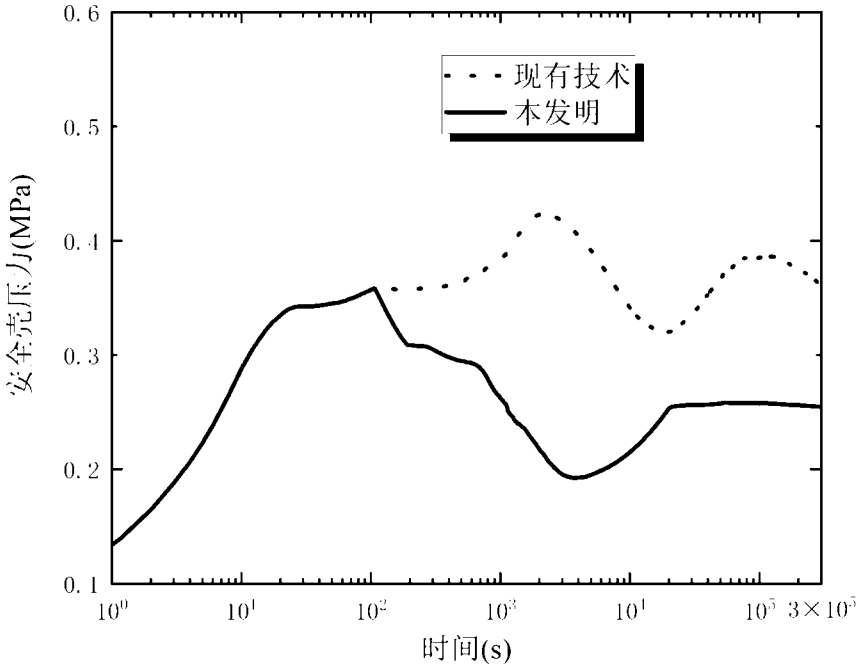


图 8

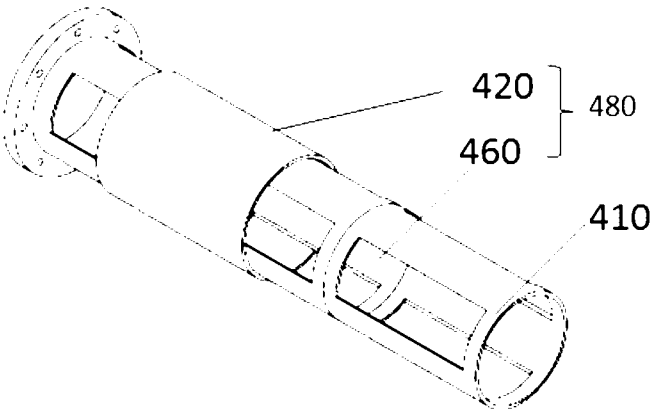


图 9

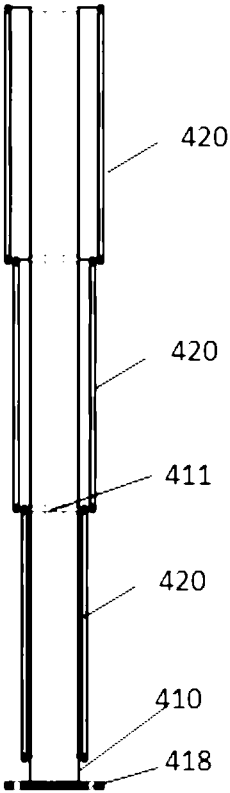


图 10

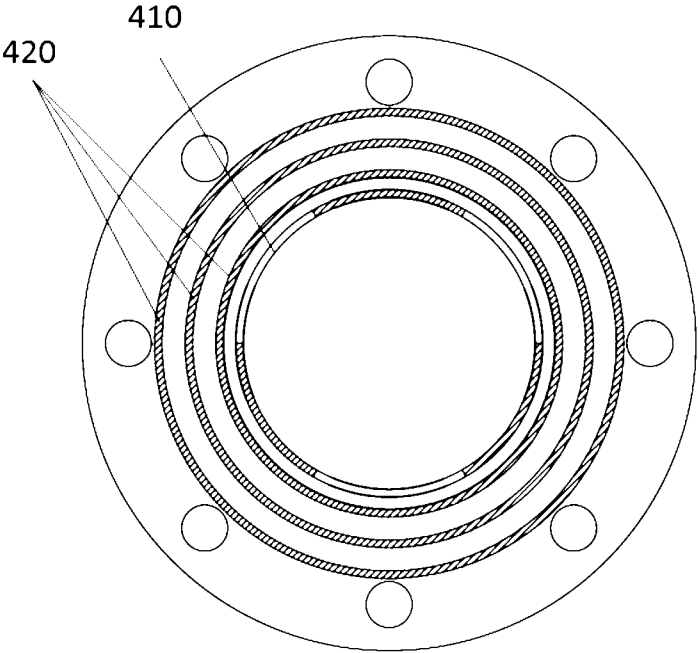


图 11

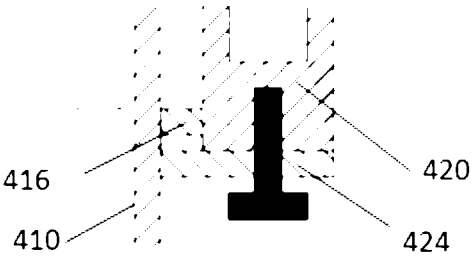


图 12

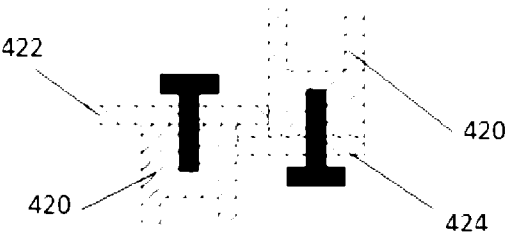


图 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/081974

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G21C15/18(2006.01)i; G21C15/02(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G21C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; CNKI; VEN; USTXT; EPTXT; WOTXT: 安全壳, 反应堆, 核电站, 浮力, 重力, 自重, 换热, 冷却, 排气, 排汽, 热交换, 散热, 液面, 液位, Containment, Nuclear, safety shell, buoyant+, gravit+, float+, heat, cool+, vapor+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 107210071 A (JOINT-STOCK COMPANY SCIENTIFIC RESEARCH AND DESIGN INSTITUTE FOR ENERGY TECHNOLOGIES ATOMPROEKT) 26 September 2017 (2017-09-26) abstract, description, paragraphs [0007]-[0047], and figure 1	1-32
A	CN 105489258 A (SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE) 13 April 2016 (2016-04-13) entire document	1-32
A	CN 113140335 A (CHINA NUCLEAR POWER ENGINEERING CO., LTD.) 20 July 2021 (2021-07-20) entire document	1-32
A	CN 113593733 A (CHINA NUCLEAR POWER ENGINEERING CO., LTD.) 02 November 2021 (2021-11-02) entire document	1-32
A	US 4950448 A (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 21 August 1990 (1990-08-21) entire document	1-32

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 September 2023

Date of mailing of the international search report

22 September 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/081974

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	107210071	A	26 September 2017	None	
CN	105489258	A	13 April 2016	None	
CN	113140335	A	20 July 2021	None	
CN	113593733	A	02 November 2021	None	
US	4950448	A	21 August 1990	None	

国际检索报告		国际申请号 PCT/CN2023/081974
A. 主题的分类 G21C15/18(2006.01)i; G21C15/02(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) IPC: G21C 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称,和使用的检索词(如使用)) CNABS;CNTXT;CNKI;VEN;USTXT;EPTXT;WOTXT:安全壳,反应堆,核电站,浮力,重力,自重,换热,冷却,排气,排汽,热交换,散热,液面,液位,Containment, Nuclear, safety shell, buoyan+, gravit+, float+, heat, cool+, vapor+		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件,必要时,指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 107210071 A (原子能技术科学研究设计院股份公司) 2017年9月26日 (2017 - 09 - 26) 摘要,说明书第[C007]-[0047]段,附图1	1-32
A	CN 105489258 A (上海核工程研究设计院) 2016年4月13日 (2016 - 04 - 13) 全文	1-32
A	CN 113140335 A (中国核电工程有限公司) 2021年7月20日 (2021 - 07 - 20) 全文	1-32
A	CN 113593733 A (中国核电工程有限公司) 2021年11月2日 (2021 - 11 - 02) 全文	1-32
A	US 4950448 A (GEN ELECTRIC) 1990年8月21日 (1990 - 08 - 21) 全文	1-32
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件,或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “Q” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布,与申请不相抵触,但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件,单独考虑该文件,认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件,当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时,要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2023年9月10日		国际检索报告邮寄日期 2023年9月22日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		授权官员 郁亚红 电话号码 (+86) 0512-88997127

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/081974

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	107210071	A	2017年9月26日	无	
CN	105489258	A	2016年4月13日	无	
CN	113140335	A	2021年7月20日	无	
CN	113593733	A	2021年11月2日	无	
US	4950448	A	1990年8月21日	无	