



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104952497 A

(43) 申请公布日 2015. 09. 30

(21) 申请号 201510367535. 7

(22) 申请日 2015. 06. 29

(71) 申请人 中国原子能科学研究院

地址 102413 北京市房山区北京市 275 信箱  
65 分箱

(72) 发明人 陈宇宙 段明慧 吕玉凤 李伟卿  
毕可明 王炜 王含

(51) Int. Cl.

G21C 15/18(2006. 01)

G21C 17/00(2006. 01)

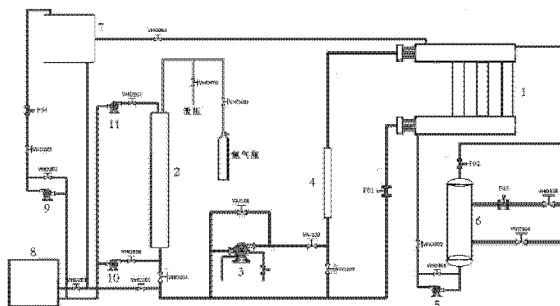
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

一种非能动余热排出热交换器试验装置

(57) 摘要

本发明涉及一种非能动余热排出热交换器试验装置。所述试验装置包括传热试验段、稳压器、屏蔽泵、加热器、循环泵、换热器、高位水箱、低位水箱、提升泵、补水泵和喷淋泵；其中，所述传热试验段、稳压器、屏蔽泵、加热器组成试验装置的主回路系统；所述传热试验段包括3根C形传热管和冷却水箱，所述稳压器与传热试验段的出口管道和屏蔽泵的入口管道相连；所述屏蔽泵与传热试验段的出口管道相连，通过调节屏蔽泵前的阀门和旁通阀门，调节主回路的流量；所述加热器安装在屏蔽泵和传热试验段之间。本发明对传热管的形式、尺寸、材质的设计合理。且合理避免了应力变形问题，同时也大大减少了用水量。能够更准确地模拟传热过程，获取更精确的传热数据。



1. 一种非能动余热排出热交换器试验装置,其特征在于:

所述试验装置包括传热试验段、稳压器、屏蔽泵、加热器、循环泵、换热器、高位水箱、低位水箱、提升泵、补水泵和喷淋泵;

其中,所述传热试验段、稳压器、屏蔽泵、加热器组成试验装置的主回路系统;所述传热试验段包括3根C形传热管和冷却水箱,所述稳压器与传热试验段的出口管道和屏蔽泵的入口管道相连;所述屏蔽泵与传热试验段的出口管道相连,通过调节屏蔽泵前的阀门和旁通阀门,调节主回路的流量;所述加热器安装在屏蔽泵和传热试验段之间;

所述循环泵的入口与换热器的管程出口连接,出口与冷却水箱的入口管相连;

所述换热器的管程入口与冷却水箱的出口管相连,管程出口与循环泵的入口相连;

所述高位水箱储存主回路系统用纯水,在重力作用下向主回路系统注水;低位水箱储存主回路系统用纯水;

所述提升泵与高位水箱和低位水箱相连,将低位水箱中的水注入高位水箱中;补水泵安装在低位水箱和稳压器下管口之间,将低位水箱中的水从稳压器底部注入,提升稳压器压力,且保证稳压器内的水面不低于最低液位值;喷淋泵安装在低位水箱和稳压器上管口之间,将低位水箱中的水通过稳压器顶部喷淋装置向稳压器中注水。

2. 如权利要求1所述的非能动余热排出热交换器试验装置,其特征在于:

所述传热试验段中,每根C形管12由上水平段、竖直段和下水平段三段用卡套连接而成,3根传热管是分别嵌套在冷却水箱的3个竖直圆管中;3根传热管的入口和出口分别通过上分流器、下分流器与试验装置主回路管道相连。

3. 如权利要求1或2所述的非能动余热排出热交换器试验装置,其特征在于:

所述冷却水箱由3个竖直圆管并联与上、下水平圆管连接而成,每个竖直圆管中分别包含了一根传热管的竖直段;冷却水箱底部的下水平圆管上具有入口管,上水平圆管具有上法兰盖,所述上法兰盖上具有出口管,上法兰盖上还有另一个出口管用于冷却水的溢流。

4. 如权利要求1或2所述的非能动余热排出热交换器试验装置,其特征在于:

在所述传热管中布置数根热偶阱,热偶阱插入传热管中并与传热管壁面银焊,用三脚支架将其支撑在传热管中心,热电偶从热偶阱的开口端穿进去,在3根传热管中分别布置10根、12根和13根热电偶;3根传热管外壁面具有直接焊接在外壁面的热电偶,上述3根传热管外壁面分别布置10根、14根和13根热电偶,上述外壁面的热电偶与传热管中的热电偶交错分布;在所述冷却水箱中布置18根热偶阱,热偶阱插入冷却水箱中,并与水箱壁面焊接,热电偶穿进热偶阱中,每个热偶阱中安装1根热电偶。

5. 如权利要求1或2所述的非能动余热排出热交换器试验装置,其特征在于:

所述稳压器采用立式圆柱形结构,并且有上、下椭圆形封头,稳压器稳压过程中,容器内气体排放由排气阀实现,排气阀安装在稳压器的顶端;系统压力保护通过安装在稳压器上端的安全阀实现。

6. 如权利要求1或2所述的非能动余热排出热交换器试验装置,其特征在于:

所述加热器与主回路管道通过法兰连接,法兰间加绝缘密封垫片;主回路流体流经加热器,再经上分流器流入传热管;加热器最大工作压力为15MPa,最大工作温度为324℃;加热器内工质为纯水,加热器采用 $\Phi 32 \times 3\text{mm}$ 、长度约4.5m的管子制成,加热器采用经可控硅整流电源整定后的直流低电压大电流直接输出到加热管段上的加热方式,整流电源输出为

12 脉波直流 DC :50V、0 ~ 10000A, 加热电功率为 300KW, 管道中间接电源正极, 两端接电源负极。

7. 如权利要求 2 所述的非能动余热排出热交换器试验装置, 其特征在于:

所述循环泵将冷却水箱内的水抽出, 经换热器冷却后, 再注入冷却水箱, 实现冷却水箱内水的循环和温度恒定。

8. 如权利要求 1 所述的非能动余热排出热交换器试验装置, 其特征在于:

所述换热器降低从冷却水箱出来的流体温度, 以实现冷却水箱内水温恒定, 换热器为蒸发式换热器, 采用管壳式结构, 立式布置, 管程换热管采用 U 型布置, 壳程为圆柱筒体结构, 筒体与上下封头连接, 上封头为椭圆形封头, 下封头为球形封头, 壳程和管程材质均为 304 不锈钢。

9. 如权利要求 4 所述的非能动余热排出热交换器试验装置, 其特征在于:

所述热偶阱使用  $\Phi 3 \times 0.5\text{mm}$  的 304 不锈钢无缝管制作而成, 钢管一端封闭, 一端开口。

10. 如权利要求 1 所述的非能动余热排出热交换器试验装置, 其特征在于:

高位水箱为直径 1m、高 1.2m 的圆柱形水箱, 水箱工作温度为 20 ~ 90℃, 工作压力为常压, 水箱材质为 304 不锈钢; 低位水箱为 1×1×1.3m 的立方体水箱, 水箱工作温度为 20 ~ 90℃, 工作压力为常压, 水箱材质为 304 不锈钢。

## 一种非能动余热排出热交换器试验装置

### 技术领域

[0001] 本发明具体涉及一种非能动余热排出热交换器试验装置。

### 背景技术

[0002] 非能动余热排出热交换器 (PRHR HX) 是第三代压水堆核电站 AP1000 中的应急堆芯冷却系统,对缓解热阱丧失事故起着重要作用。非能动余热排出热交换器主要由传热管和安全壳内换料水箱组成。反应堆冷却剂系统热段的流体流入传热管,被换料水箱中的水冷却,从而将堆芯的衰变热排出。由于不同温度的冷却剂之间存在密度差,在热交换器中形成了自然循环。

[0003] 非能动余热排出热交换器在自然循环过程中的两相流动传热现象是对反应堆安全有重要影响的热工水力现象。由于热交换器一、二次侧温差大,参数变化范围广,涉及多种单相和两相流动传热模式。自然循环流速低,受浮升力影响大,因此热交换器中的动力学特性与强迫循环有显著不同。目前,对非能动余热排出热交换器传热管内、外的两相流动及传热现象认识不充分,因此,建立非能动余热排出热交换器试验装置用于开展自然循环两相流动传热行为研究对于堆芯设计和安全分析技术的发展十分必要。

[0004] 美国西屋公司针对 AP600 中的非能动余热排出热交换器建立了传热试验装置,用于验证热交换器的传热性能。试验装置的试验段由 3 根并排的 304 不锈钢竖直传热管浸没在圆形水箱中,模拟热交换器换热管的竖直段在换料水箱中的传热。装置保持了 AP600 非能动余热排出热交换器的完全高度,换热管的壁厚、内径及间距与真实尺寸相似。试验装置的运行工况能够涵盖 AP600 非能动余热排出热交换器的运行参数。但是,实际 AP1000 的热交换器传热管是 C 形传热管,由上、下水平段和竖直段组成,其中水平段占传热管总表面积的 42%,主要的传热发生在传热管上水平段。而在西屋公司建立的试验装置中,传热管只包含竖直段,在该装置上不能开展水平段的传热试验研究。同时,该试验装置的传热管采用 304 不锈钢管,而 AP1000 中的传热管材质为因科镍 (Inconel 690),两种材质的热导率相差约 34%,这将对传热试验数据的准确性和可靠性产生影响。

### 发明内容

[0005] 针对上述试验装置的不足,本发明的目的在于建立与 AP1000 非能动余热排出热交换器 C 形管尺寸相同、材质接近的非能动余热排出热交换器传热试验装置,用于开展自然循环两相流动传热试验,为堆芯设计和安全分析提供试验数据,并为非能动余热排出热交换器自然循环两相流动传热程序模型的评价提供依据。

[0006] 为达到以上目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种非能动余热排出热交换器试验装置,所述试验装置包括传热试验段、稳压器、屏蔽泵、加热器、循环泵、换热器、高位水箱、低位水箱、提升泵、补水泵和喷淋泵;

[0008] 其中,所述传热试验段、稳压器、屏蔽泵、加热器组成试验装置的主回路系统;所述传热试验段包括 3 根 C 形传热管和冷却水箱,所述稳压器与传热试验段的出口管道和屏蔽

泵的入口管道相连；所述屏蔽泵与传热试验段的出口管道相连，通过调节屏蔽泵前的阀门和旁通阀门，调节主回路的流量；所述加热器安装在屏蔽泵和传热试验段之间；

[0009] 所述循环泵的入口与换热器的管程出口连接，出口与冷却水箱的入口管相连；

[0010] 所述换热器的管程入口与冷却水箱的出口管相连，管程出口与循环泵的入口相连；

[0011] 所述高位水箱储存主回路系统用纯水，在重力作用下向主回路系统注水；低位水箱储存主回路系统用纯水；

[0012] 所述提升泵与高位水箱和低位水箱相连，将低位水箱中的水注入高位水箱中；补水泵安装在低位水箱和稳压器下管口之间，将低位水箱中的水从稳压器底部注入，提升稳压器压力，且保证稳压器内的水面不低于最低液位值；喷淋泵安装在低位水箱和稳压器上管口之间，将低位水箱中的水通过稳压器顶部喷淋装置向稳压器中注水。

[0013] 进一步地，如上所述的非能动余热排出热交换器试验装置，所述传热试验段中，每根C形管12由上水平段、竖直段和下水平段三段用卡套连接而成，3根传热管是分别嵌套在冷却水箱的3个竖直圆管中；3根传热管的入口和出口分别通过上分流器、下分流器与试验装置主回路管道相连。

[0014] 进一步地，如上所述的非能动余热排出热交换器试验装置，所述冷却水箱由3个竖直圆管并联与上、下水平圆管连接而成，每个竖直圆管中分别包含了一根传热管的竖直段；冷却水箱底部的下水平圆管上具有入口管，上水平圆管具有上法兰盖，所述上法兰盖上具有出口管，上法兰盖上还有另一个出口管用于冷却水的溢流。

[0015] 进一步地，如上所述的非能动余热排出热交换器试验装置，在所述传热管中布置数根热偶阱，热偶阱插入传热管中并与传热管壁面银焊，用三脚支架将其支撑在传热管中心，热电偶从热偶阱的开口端穿进去，在3根传热管中分别布置10根、12根和13根热电偶；3根传热管外壁面具有直接焊接在外壁面的热电偶，上述3根传热管外壁面分别布置10根、14根和13根热电偶，上述外壁面的热电偶与传热管中的热电偶交错分布；在所述冷却水箱中布置18根热偶阱，热偶阱插入冷却水箱中，并与水箱壁面焊接，热电偶穿进热偶阱中，每个热偶阱中安装1根热电偶。

[0016] 进一步地，如上所述的非能动余热排出热交换器试验装置，所述稳压器采用立式圆柱形结构，并且有上、下椭圆形封头，稳压器稳压过程中，容器内气体排放由排气阀实现，排气阀安装在稳压器的顶端；系统压力保护通过安装在稳压器上端的安全阀实现。

[0017] 进一步地，如上所述的非能动余热排出热交换器试验装置，所述加热器与主回路管道通过法兰连接，法兰间加绝缘密封垫片；主回路流体流经加热器，再经上分流器流入传热管；加热器最大工作压力为15MPa，最大工作温度为324℃；加热器内工质为纯水，加热器采用 $\Phi 32 \times 3\text{mm}$ 、长度约4.5m的管子制成，加热器采用经可控硅整流电源整定后的直流低电压大电流直接输出到加热管段上的加热方式，整流电源输出为12脉波直流DC：50V、0~10000A，加热电功率为300KW，管道中间接电源正极，两端接电源负极。

[0018] 进一步地，如上所述的非能动余热排出热交换器试验装置，所述循环泵将冷却水箱内的水抽出，经换热器冷却后，再注入冷却水箱，实现冷却水箱内水的循环和温度恒定。

[0019] 进一步地，如上所述的非能动余热排出热交换器试验装置，所述换热器降低从冷却水箱出来的流体温度，以实现冷却水箱内水温恒定，换热器为蒸发式换热器，采用管壳式

结构,立式布置,管程换热管采用 U 型布置,壳程为圆柱筒体结构,筒体与上下封头连接,上封头为椭圆形封头,下封头为球形封头,壳程和管程材质均为 304 不锈钢。

[0020] 进一步地,如上所述的非能动余热排出热交换器试验装置,所述热偶阱使用  $\Phi 3 \times 0.5\text{mm}$  的 304 不锈钢无缝管制作而成,钢管一端封闭,一端开口。

[0021] 进一步地,如上所述的非能动余热排出热交换器试验装置,高位水箱为直径 1m、高 1.2m 的圆柱形水箱,水箱工作温度为  $20 \sim 90^\circ\text{C}$ ,工作压力为常压,水箱材质为 304 不锈钢;低位水箱为  $1 \times 1 \times 1.3\text{m}$  的立方体水箱,水箱工作温度为  $20 \sim 90^\circ\text{C}$ ,工作压力为常压,水箱材质为 304 不锈钢。

[0022] 本发明的有益效果如下:

[0023] 本发明的非能动余热排出热交换器试验装置采用了 3 根  $\Phi 19.05 \times 1.5\text{mm}$  的 Inconel 600C 形管模拟 AP1000 中换热器的传热管,其尺寸与 AP1000 中的三根典型传热管相同。相比较 304 不锈钢材质,Inconel 600 的热导率与 Inconel 690 更为接近,仅相差 6%。

[0024] 此外,对冷却水箱采取的简化设计,合理避免了由于水箱尺寸过大引起的应力变形问题,同时也大大减少了冷却水箱的用水量,缩短了试验准备时间。

[0025] 经过调试,该试验装置能达到压力  $0.2 \sim 15.0\text{MPa}$ 、传热管入口含汽率  $0.1 \sim 1.0$ 、入口温度  $150 \sim 324^\circ\text{C}$ 、传热管内流率  $200 \sim 2000\text{kg/m}^2\text{s}$  的试验工况范围。该工况范围涵盖了 AP1000 非能动余热排出热交换器的工作范围。

[0026] 因此,在该装置上开展自然循环两相流动传热试验能够更准确地模拟 AP1000 非能动余热排出热交换器的传热过程,获取更精确的传热数据。

## 附图说明

[0027] 图 1 为非能动余热排出热交换器实验装置流程图。

[0028] 图 2 为传热试验段结构示意图。

[0029] 图 3 为热偶阱结构示意图。

## 具体实施方式

[0030] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细的描述。

[0031] 如图 1 所示,非能动余热排出热交换器试验装置包括传热试验段 1、稳压器 2、屏蔽泵 3、加热器 4、循环泵 5、换热器 6、高位水箱 7、低位水箱 8、提升泵 9、补水泵 10 和喷淋泵 11。其中,试验段 1、稳压器 2、屏蔽泵 3、加热器 4 组成了试验装置的主回路系统。

[0032] 流体在主回路中流经加热器 4 时,温度上升,密度下降,于是向上流动进入传热试验段 1。在传热试验段 1 中,主回路流体被冷却,密度增大,于是向下流动,流出试验段,再经主回路管道回到加热器 4。这就在非能动余热排出热交换器试验装置中形成了自然循环过程。如果开启阀门 VAJ101 和 VAJ102,并开启屏蔽泵 3,主回路流体经过屏蔽泵再进入加热器,这就形成了强迫循环。

[0033] (1) 传热试验段

[0034] 传热试验段 1 是试验装置中的关键部件,用于将主回路中的热量传递到二次侧系统。如图 2 所示,其主要由 3 根 C 形传热管 12 和冷却水箱 13 组成。C 形管 12 浸没在冷却

水箱 13 中,冷却水箱 13 模拟的是安全壳内换料水箱。

[0035] 试验段 1 的主要技术参数如表 1 所示。

[0036] 表 1 传热试验段主要技术参数

[0037]

设计压力(MPa)	17
设计温度(°C)	350

[0038]

工作压力(MPa)	~15
入口温度(°C)	150~324
工作介质	去离子水
传热管内流量 (kg/m <sup>2</sup> s)	200~2000
材料	Inconel 600
传热管外径(mm)	19.05
传热管内径(mm)	15.75
传热管数量	3

[0039] 传热管 12 的尺寸与 AP1000 中的传热管尺寸相同,外径为 19.05mm,壁厚 1.65mm。每根 C 形管 12 由上水平段、竖直段和下水平段三段用卡套连接而成。采用卡套连接而不使用整根 C 形管,是出于方便试验段安装的考虑。因为 3 根传热管 12 是分别嵌套在冷却水箱 13 的 3 个竖直圆管中的。

[0040] 3 根传热管 12 分别模拟了 AP1000 非能动余热排出热交换器传热管束中的最短、最长和中心处的传热管(如表 2 所示)。传热管束在同一竖直平面内,相邻水平段中心轴间距设计为 38mm,与 AP1000 相同。传热管 12 的材质为 Inconel 600,其热导率与 Inconel 690 仅相差 6%。

[0041] 表 2 传热管长度

[0042]

传热管编号	水平段	竖直段
A(最短)	2586mm	5284mm
B(中间)	3656mm	5360mm

C(最长)	4724mm	5436mm
-------	--------	--------

[0043] 3根传热管 12 的入口和出口分别通过上分流器 14、下分流器 15 与试验装置主回路管道相连。流体从上分流器 14 流入传热管 12, 从下分流器 15 流出传热管 12。当高温流体流经传热管时 12, 冷却水箱 13 中的水被加热甚至沸腾, 主回路中的热量就通过热交换器传热管束传至冷却水箱 13。出口管线冷水与入口管线热水之间的密度差使得流体在主回路中形成了自然循环。

[0044] 冷却水箱 13 由 3 个竖直圆管并联与上下水平圆管连接而成。每个竖直圆管中分别包含了一根传热管 12 的竖直段。水平圆管尺寸为  $\Phi 325 \times 3.5\text{mm}$ , 竖直圆管尺寸为  $\Phi 219 \times 3.5\text{mm}$ 。根据西屋公司对 AP600 非能动余热排出热交换器的试验研究表明, 相邻传热管轴间距较大时, 管束之间的热效应相互独立。典型的热交换器传热管管间距与直径比  $P/D$  为 1.3-1.5, AP600 中  $P/D = 2$ 。当冷却水箱壁面与传热管的距离足够大时, 水箱壁面的距离变化对传热管内外传热的影响可以忽略。本装置中, 冷却水箱 13 壁面与传热管 12 距离大于 38mm, 不会影响主回路与冷却水的传热, 因此对冷却水箱的合理简化是可行的。

[0045] 冷却水箱 13 的主要技术参数如表 3 所示。二次侧的冷却水从冷却水箱 13 底部的入口管 16 流进去, 从上法兰盖 17 上的出口管 18 流出。上法兰盖上还有另一个出口管 19 用于冷却水的溢流。

[0046] 表 3 冷却水箱主要技术参数

[0047]

设计压力(MPa)	1
设计温度(°C)	100
工作压力(MPa)	0.1
工作温度(°C)	~100
工作介质	去离子水
材料	06Cr19Ni10
接管表	

[0048]

16	入水口
18	出水口
19	溢流口

[0049] 为了获取自然循环两相流动传热试验数据, 试验段 1 中布置了许多温度测点, 包括传热管 12 中心流体温度、外壁面温度和冷却水箱 13 池水温度。



[0050] 如图 3 所示,为测量传热管 12 中心流体温度,在传热管 12 中布置了数根热偶阱 20。热偶阱插入传热管 12 中并与传热管 12 壁面银焊,用三脚支架 21 将其支撑在传热管 12 中心。直径为 0.5mm 的铠装热电偶从热偶阱 20 的开口端穿进去。根据试验数据需要,本试验装置需要在 A 传热管 12 中布置 10 根热电偶,在 B 传热管 12 中布置 12 根热电偶,在 C 传热管 12 中布置 13 根热电偶。热偶阱尺寸的选取既要保证能够穿入足够数量的热电偶,又要尽可能减小其对传热管内流体流动的影响,同时,还要满足 20MPa、350℃的设计条件。因此,热偶阱 20 使用  $\Phi 3 \times 0.5\text{mm}$  的 304 不锈钢无缝管制作而成,钢管一端封闭,一端开口。

[0051] 传热管 12 外壁面温度使用直接焊接在外壁表面的热电偶进行测量。A 管表面布置了 10 根热电偶,B 管布置了 14 根,C 管布置了 13 根。壁面温度热电偶与中心流体温度热电偶交错分布。

[0052] 此外,为测量冷却水箱 13 池水温度,在冷却水箱 13 中布置了 18 根热偶阱。热偶阱插入冷却水箱 13 中,并与水箱壁面焊接。直径为 0.5mm 的铠装热电偶穿进热偶阱中,每个热偶阱中安装 1 根热电偶。

### [0053] (2) 稳压器

[0054] 试验装置中稳压器 2 与传热试验段 1 的出口管道和屏蔽泵 3 的入口管道相连,其作用是维持主回路系统压力恒定,为回路系统提供足够的体积补偿,从而保证主回路系统的压力稳定性和安全性。

[0055] 稳压器采用立式圆柱形结构,并且有上、下椭圆形封头,容器外壳用 304 不锈钢制成。稳压器稳压过程中,容器内气体排放由排气阀实现,排气阀安装在稳压器的顶端;系统压力保护通过安装在稳压器上端的安全阀实现,当压力超过 19MPa 时,安全阀开启,当压力下降到 18MPa 时,安全阀自动回座密封,保持主回路系统的压力在额定范围内运行。稳压器主要技术参数见表 4。

[0056] 表 4 稳压器主要技术参数

[0057]

序号	名称	单位	参数
1	设计压力	MPa	20
2	设计温度	℃	350
3	容器容积	m <sup>3</sup>	0.3
4	筒体及封头壁厚	mm	50
5	材料		06Cr19Ni10

### [0058] (3) 屏蔽泵

[0059] 屏蔽泵 3 与传热试验段 1 的出口管道相连,是主回路循环系统的主要动力设备,提供不同试验工况下所需的流体流量。当进行较大流量的循环传热试验时,自然循环达不到

试验工况所需流量,就需要开启屏蔽泵 3 进行强迫循环传热试验。通过调节屏蔽泵 3 前的阀门 VAJ102 和旁通阀门 VAJ101,调节主回路的流量。

[0060] 根据试验装置的设计能力定位,需要主回路循环系统具备  $15\text{m}^3/\text{h}$  的循环流量能力。因此,选取屏蔽泵 3 的主要技术参数见表 5。屏蔽泵 3 与主回路管道采用焊接形式连接。泵的轴承润滑及屏蔽套的冷却通过二次水循环冷却系统来保证。泵的轴承润滑、屏蔽套冷却用的冷却水必须保证连续供应,当冷却水中断时,控制系统报警,并切断屏蔽泵 3 电源。

[0061] 表 5 主循环泵技术参数

[0062]

序号	名称	单位	数值
1	设计温度	°C	350
2	设计压力	MPa	20
3	额定流量	$\text{m}^3/\text{h}$	25
4	额定扬程	m	25
5	电机效率	%	60
6	转速	r/min	3000

[0063] (4) 加热器

[0064] 加热器 4 安装在屏蔽泵 2 和传热试验段 1 之间,主回路流体流经加热器 4,再经上分流器 14 流入传热管 12。通过调节加热器 4 的功率,使传热管 12 入口温度达到试验要求。

[0065] 加热器 4 最大工作压力为 15MPa,最大工作温度为  $324^\circ\text{C}$ 。加热器内工质为纯水。加热器 4 采用  $\Phi 32 \times 3\text{mm}$ 、长度约 4.5m 的管子制成。加热器 4 与主回路管道通过法兰连接,法兰间加绝缘密封垫片。加热器 4 采用经可控硅整流电源整定后的直流低电压大电流直接输出到加热管段上的加热方式。整流电源输出为 12 脉波直流 DC :50V、0 ~ 10000A。加热电功率为 300KW。管道中间接电源正极,两端接电源负极。

[0066] (5) 循环泵

[0067] 循环泵 5 为离心泵,其入口与换热器 6 的管程出口连接,出口与冷却水箱 13 的入口管 16 相连,其作用是将冷却水箱 13 内的水抽出,经换热器 6 冷却后,再注入冷却水箱 13,实现冷却水箱 13 内水的循环和温度恒定。

[0068] (6) 换热器

[0069] 换热器 6 的管程入口与冷却水箱 13 的出口管 18 相连,管程出口与循环泵 5 的入口相连,其作用是降低从冷却水箱 13 出来的流体温度,以实现冷却水箱 13 内水温恒定。换热器为蒸发式换热器,采用管壳式结构,立式布置,管程换热管采用 U 型布置。壳程为圆柱筒体结构,筒体与上下封头连接,上封头为椭圆形封头,下封头为球形封头。壳程和管程材质均为 304 不锈钢。换热器 6 的主要技术参数见表 6。

[0070] 表 6 换热器技术参数表

[0071]

技术要求		接管表		
壳程压力 (MPa)	0.1	符号	DN	用途
壳程流量 (t/h)	6	a	50	管程入口
壳程入口温度 (°C)	20	b	50	管程出口
壳程出口温度 (°C)	95	c	50	壳程入口
管程压力 (MPa)	0.5	d	50	壳程出口
管程流量 (t/h)	3	e	80	排气口
管程入口温度 (°C)	150	f	50	排液口
管程出口温度 (°C)	100			

[0072] (7) 高位水箱

[0073] 高位水箱 7 的功能是储存主回路系统用纯水,在重力作用下向主回路系统注水。高位水箱为直径 1m、高 1.2m 的圆柱形水箱。水箱工作温度为 20 ~ 90°C,工作压力为常压,水箱材质为 304 不锈钢。

[0074] (8) 低位水箱

[0075] 低位水箱 8 的功能是储存主回路系统用纯水。低位水箱为 1×1×1.3m 的立方体水箱。水箱工作温度为 20 ~ 90°C,工作压力为常压,水箱材质为 304 不锈钢。

[0076] (9) 提升泵

[0077] 提升泵 9 与高位水箱 7 和低位水箱 8 相连,其作用是将低位水箱 8 中的水注入高位水箱 7 中。高位储水箱和低位储水箱的液位差约 10m。因此,采用立式不锈钢离心泵 HS50-250A,额定扬程为 70m,额定流量为 20m<sup>3</sup>/h。

[0078] (10) 补水泵

[0079] 补水泵 10 安装在低位水箱 8 和稳压器 2 下管口之间,其作用是将低位水箱中的水从稳压器 2 底部注入,提升稳压罐压力,且保证稳压器 2 内的水面不低于最低液位值。补水泵 10 流量为 60L/h。

[0080] (11) 喷淋泵

[0081] 喷淋泵 11 安装在低位水箱 8 和稳压器 2 上管口之间,其作用是将低位水箱中的水通过稳压器 2 顶部喷淋装置向稳压器 2 中注水,以降低蒸汽温度。喷淋泵 11 流量为 60L/h。

[0082] 本发明的操作方法如下:在自然循环试验开始前,关闭阀门 VAJ101 和 VAJ102,将屏蔽泵从试验回路中隔离开。确保 VC0103 阀门开启。开启阀门 VHO202 和 VHO203,启动提升泵将低位水箱中的水提升到高位水箱中。当高位水箱溢流时,关闭提升泵和阀门 VHO203、VHO201。打开阀门 VHO105, VHO104 和 VHO 204,向包含稳压罐、冷却水箱和主管道在内的试验回路灌水。

[0083] 当试验回路中充满水时,关闭阀门VH0105。向稳压罐中充入氮气,然后开启补水泵给主回路增压,直到达到试验所需压力。开启加热器加热主回路中的水。当主回路中的水流经加热器时,温度上升导致密度下降,于是向上流动进入试验段。调节加热器功率和VC0103的开度,使得试验段的入口水温达到试验条件。当热水流经试验段时,被冷却水箱所冷却,密度增加,于是向下流动,流出试验段,并经主管道回到加热器中。这一过程就在主回路中形成了自然循环。

[0084] 与此同时,开启循环泵使得冷却水箱中的水通过换热器循环,开启阀门VH0303和VH0304,使得换热器的二次水循环来冷却水箱中的水。

[0085] 当系统达到稳定状态时,计算机开始记录试验数据,每秒钟记录一次,包括传热管内温度、管壁温度、水箱温度、流速和加热功率等。

[0086] 如果需要进行强迫循环试验,则打开阀门VAJ101和VAJ102。其他操作方法与自然循环试验的操作方法相同。开启屏蔽泵,通过调节VAJ101和VAJ102的开度,对主回路的流量进行调节,以满足试验工况的流量要求。

[0087] 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。

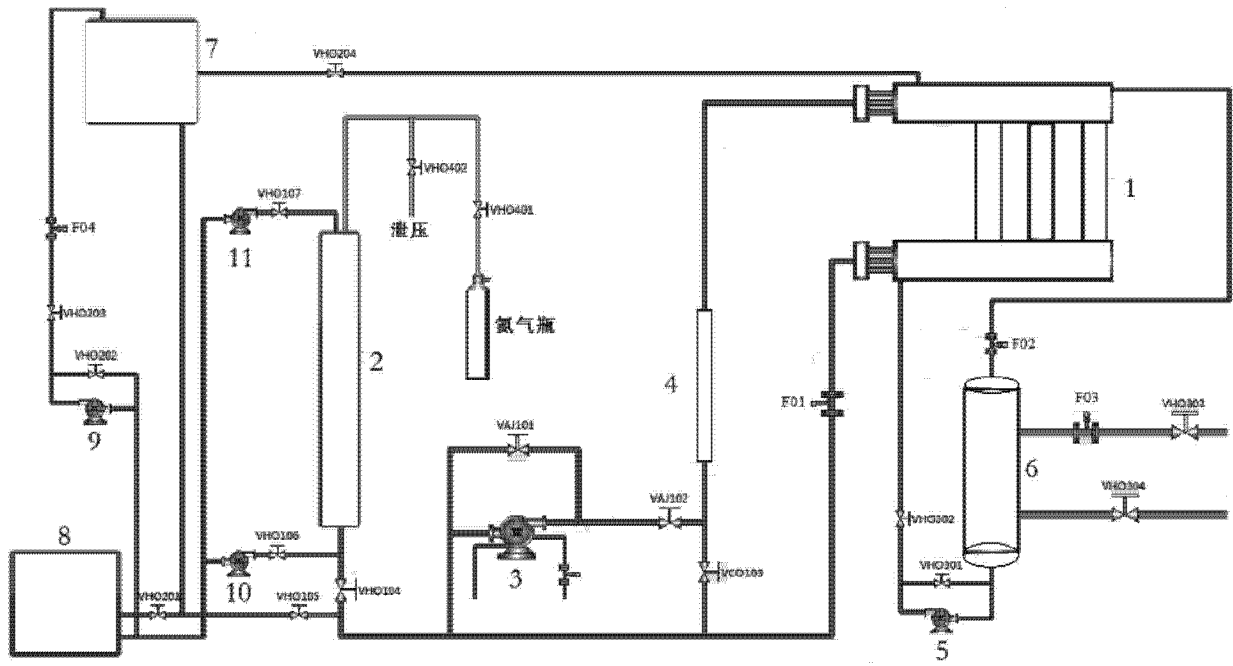


图 1

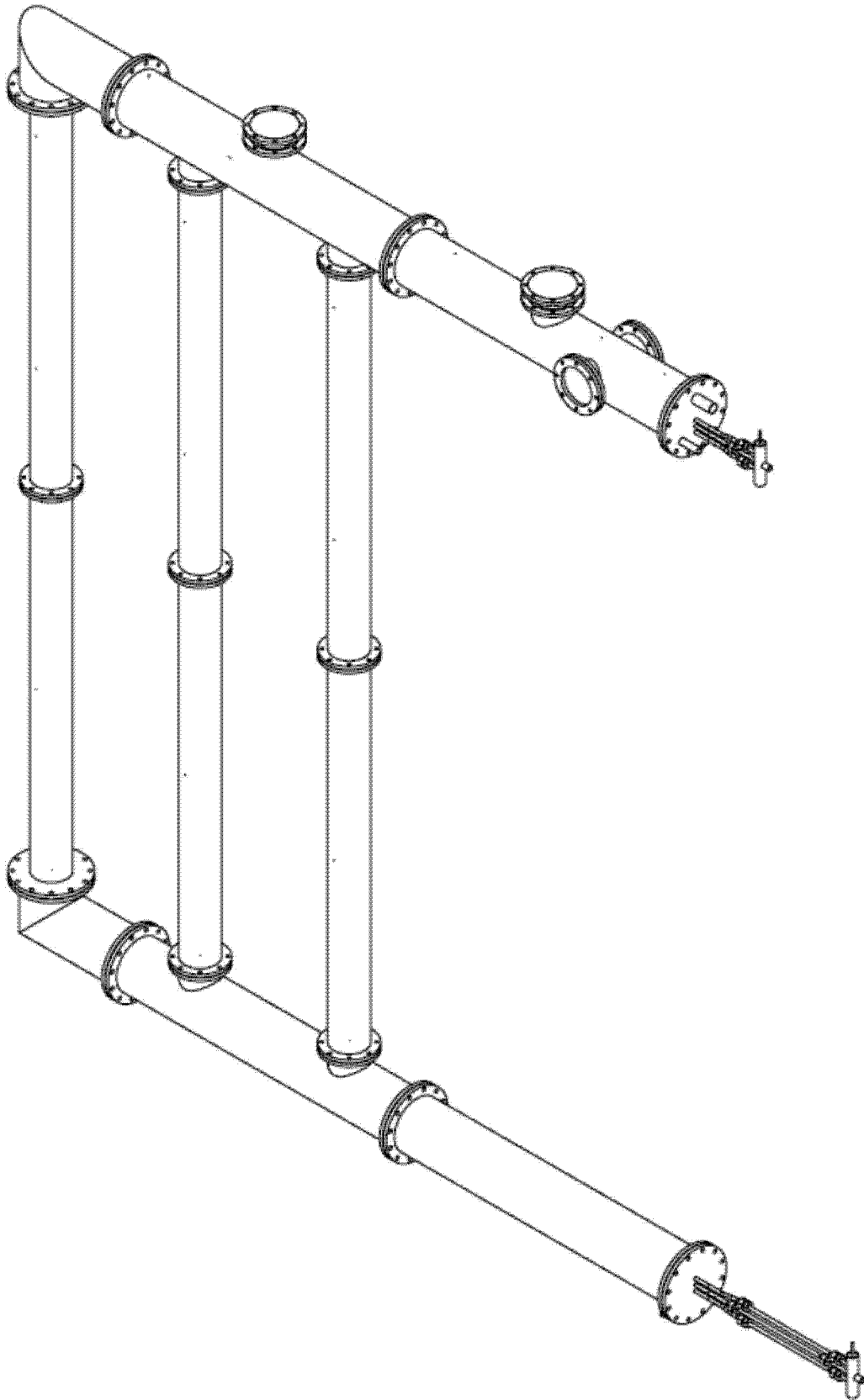


图 2

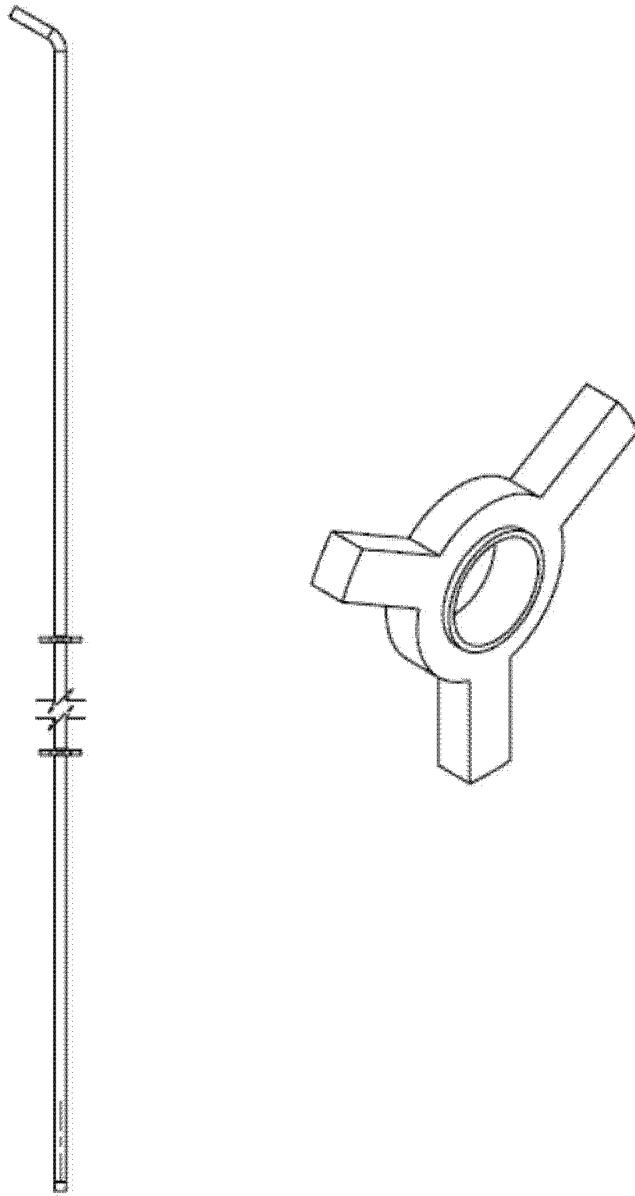


图 3