



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107250664 B

(45)授权公告日 2019.10.11

(21)申请号 201580076021.4

(22)申请日 2015.12.09

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107250664 A

(43)申请公布日 2017.10.13

(30)优先权数据
2014150427 2014.12.12 RU

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.08.11

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/RU2015/000785 2015.12.09

(87)PCT国际申请的公布数据
W02016/093736 RU 2016.06.16

(73)专利权人 获劳动红旗勋章和CZSR劳动勋章
的水压试验设计院联合股份公司
地址 俄罗斯联邦莫斯科夫斯卡区

(72)发明人 D·A·拉霍夫 A·V·萨福罗诺夫

(74)专利代理机构 北京市中咨律师事务所
11247

代理人 吴鹏 张鲁滨

(51)Int.Cl.
F22B 1/02(2006.01)
F28D 7/00(2006.01)

(56)对比文件
CN 103534549 A,2014.01.22,
WO 9320386 A1,1993.10.14,
RU 2106026 C1,1998.02.27,
RU 143541 U1,2014.07.27,
RU 2231144 C2,2004.06.20,
RU 2226722 C1,2004.04.10,

审查员 解茜

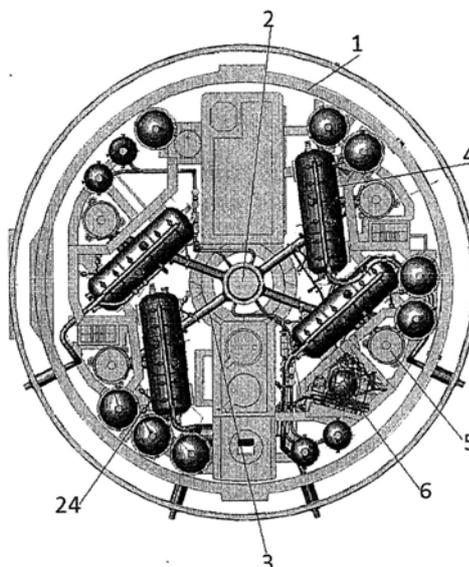
权利要求书2页 说明书11页 附图7页

(54)发明名称

用于反应堆设备的卧式蒸汽发生器

(57)摘要

本发明涉及一种电力工业,更具体地涉及用于核电站的卧式蒸汽发生器和具有水冷慢化反应堆和卧式蒸汽发生器的反应堆设备。本发明的反应堆设备包括:核反应堆,该核反应堆具有四个循环环路,各循环环路包括蒸汽发生器、主循环泵和主冷却剂主循环管线,该蒸汽发生器具有水平的热交换管束,该管束通过管间通道分成多个管组并且连接到位于具有椭圆形底部的筒形容器内部的主冷却剂集管。基于限定的关系选择容器内径、主冷却剂集管的轴线之间的横向距离和沿椭圆形底部的内表面的蒸汽发生器长度。本发明改善了蒸汽发生器的热传递性能以及可靠性和使用寿命。



1. 一种用于具有水冷水慢化动力反应堆的反应堆设备的卧式蒸汽发生器,该卧式蒸汽发生器具有筒形的蒸汽发生器容器、内部构件、连接至热交换管束的主回路冷却剂入口集管和出口集管,所述蒸汽发生器容器至少配备有一个给水供应连接管、一个蒸汽去除连接管和两个椭圆形底部,所述热交换管束构成蒸汽发生器的热交换表面并且通过管间通道分成多个管组,其特征在于,基于下列比值选择主回路冷却剂入口集管和出口集管的中心线之间沿蒸汽发生器容器的横向方向的距离S: $0.4 \leq \frac{S}{D_{vess}} \leq 0.6$,其中, D_{vess} 是蒸汽发生器容器的内径,并且基于下列比值选择沿椭圆形底部的内表面的蒸汽发生器长度 L_v :

$$L_v = D_{vess} + 2 \cdot \left[\left(\operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) - \frac{1}{\sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \right) \cdot \left(\frac{B_1}{2} + B_2 + \left(\frac{\pi \cdot D_{head}}{4 \cdot S_{head}} - 1 \right) \cdot S_h \right) + \left(\frac{\pi \cdot D_{head}}{4 \cdot S_{head}} - 1 \right) \cdot S_h \cdot \frac{1}{\sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} + \Delta \right] + \frac{H_{hes} \cdot 10^6}{\pi \cdot d \cdot N_{tb}}$$

其中: D_{head} 是钻孔部分处的主回路冷却剂入口集管和出口集管外径,mm,

α 是热交换管的中心弯曲角度,度,

B_1 是热交换管的中央管间通道的宽度,mm,

B_2 是与主回路冷却剂入口集管和出口集管相对的热交换管管间通道的宽度,mm,

S_{head} 是主回路冷却剂入口集管和出口集管的外表面上的热交换管周向间距,mm,

S_h 是热交换管束的水平排中的热交换管之间的间距,mm,

H_{hes} 是蒸汽发生器的热交换表面面积, m^2 ,

N_{tb} 是蒸汽发生器的热交换管的数量,个,

d 是热交换管外径,mm,

Δ 是沿着蒸汽发生器的纵轴线从热交换管束外管到椭圆形底部内表面的距离,单位为mm,其中,从下列范围选择热交换管的中心弯曲角度 α 和距离 Δ : $90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ 和 $300\text{mm} \leq \Delta \leq 1000\text{mm}$ 。

2. 根据权利要求1所述的蒸汽发生器,其中,所述热交换管束从蒸汽发生器壳体底面向上均匀地填充有热交换管,其中相邻的热交换管之间的竖向间隙不超过管束中的热交换管的竖向间隙。

3. 根据权利要求1所述的蒸汽发生器,其中,竖向管间通道的宽度在100mm和250mm之间。

4. 根据权利要求1所述的蒸汽发生器,其中,热交换管在与主回路冷却剂入口集管和出口集管连接的位置处的弯曲部应具有至少60mm的半径。

5. 根据权利要求1所述的蒸汽发生器,其中,主回路冷却剂入口集管和出口集管的钻孔面积应超过用于将热交换管连接至所述主回路冷却剂入口集管和出口集管上的孔的面积至少20%。

6. 一种具有水冷水慢化动力反应堆和卧式蒸汽发生器的反应堆设备,所述反应堆设备包括核反应堆,所述核反应堆具有四个循环环路,各循环环路包括蒸汽发生器、反应堆冷却剂泵和主回路冷却剂主循环管线,所述蒸汽发生器具有水平的热交换管束,该热交换管束通过管间通道分成多个管组并且连接到位于具有椭圆形底部的蒸汽发生器容器内部的主回路冷却剂入口集管和出口集管,其特征在于,基于下列比值分别选择蒸汽发生器容器孔径 D_{vess} 、主回路冷却剂入口集管和出口集管的中心线之间沿横向方向的距离S和沿椭圆形

底部的内表面的蒸汽发生器长度 L_v :

$$0.148 \cdot D + 0.637 \cdot \sqrt{0.054 \cdot D^2 + 3.142 \cdot \frac{N_{tb} \cdot S_h \cdot S_v}{k}} \leq D_{vess} \leq 1.827 \cdot H$$

$$0.4 \leq \frac{S}{D_{vess}} \leq 0.6$$

$$L_v = D_{head} + 2 \cdot \left[\left(\operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) - \frac{1}{\sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \right) \cdot \left(\frac{B_1}{2} + B_2 + \left(\frac{\pi \cdot D_{head}}{4 \cdot S_{head}} - 1 \right) \cdot S_h \right) + \left(\frac{\pi \cdot D_{head}}{4 \cdot S_{head}} - 1 \right) \cdot S_h \cdot \frac{1}{\sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} + \Delta \right] + \frac{H_{hes} \cdot 10^6}{\pi \cdot d \cdot N_{tb}},$$

其中: D 是蒸汽发生器的额定产能,t/h,

N_{tb} 是蒸汽发生器容器中的热交换管的数量,个,

S_v 、 S_h 分别是热交换管束的竖向排和水平排中的热交换管之间的间距,mm,

k 是热交换管束中的热交换管的布置标识,其中,对于平行式布置, $k=1$;对于交错式布置, $k=2$,

H 是蒸汽发生器容器中的管填充高度,mm,

D_{head} 是钻孔区域处的主回路冷却剂入口集管和出口集管外径,mm,

α 是热交换管的中心弯曲角度,度,

B_1 是热交换管的中央通道的宽度,mm,

B_2 是与主回路冷却剂入口集管和出口集管相对的热交换管通道的宽度,mm,

S_{head} 是主回路冷却剂入口集管和出口集管的外表面上的热交换管周向间距,mm,

H_{hes} 是蒸汽发生器的热交换表面面积, m^2 ,

d 是热交换管外径,mm,

Δ 是沿着蒸汽发生器的纵轴线从热交换管束外管到椭圆形底部内表面的距离,单位为mm,其中,从下列范围选择热交换管的中心弯曲角度 α 和距离 Δ :

$$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ \text{ 和 } 300\text{mm} \leq \Delta \leq 1000\text{mm}.$$

7. 根据权利要求6所述的反应堆设备,其中,所述蒸汽发生器和所述反应堆冷却剂泵通过液压减震器连接到反应堆建筑物壁部。

8. 根据权利要求6所述的反应堆设备,其中,所述反应堆冷却剂泵沿着循环环路中的主回路冷却剂流安装在所述蒸汽发生器的下游。

9. 根据权利要求6所述的反应堆设备,其中,所述反应堆冷却剂泵安装在循环环路中的主循环管线的热分支和冷分支上。

10. 根据权利要求6所述的反应堆设备,其中,两个反应堆冷却剂泵并联地安装在主循环管线的冷分支上。

11. 根据权利要求6所述的反应堆设备,其中,闸阀安装在主循环管线的分支上。

用于反应堆设备的卧式蒸汽发生器

技术领域

[0001] 本发明涉及电力工业,更具体地涉及用于具有水冷水慢化动力反应堆(VVER)的核电站的卧式蒸汽发生器和具有VVER反应堆和卧式蒸汽发生器的反应堆设备。

背景技术

[0002] 蒸汽发生器是VVER核电站(NPP)的反应堆设备(RP)主回路的最重要的元件。由于在反应堆中产生的热量,在蒸汽发生器中产生蒸汽,蒸汽用作涡轮工作介质以用于发电。除了产生蒸汽之外,蒸汽发生器必须在所有NPP工作模式下保证反应堆芯的可靠且连续的冷却。

[0003] 在蒸汽发生器工作期间,将高放射性的主回路冷却剂泵送通过该蒸汽发生器。为此,NPP蒸汽发生器安装在反应堆安全壳建筑物内部,并且蒸汽发生器的尺寸极大地影响了安全壳的尺寸。

[0004] 由于用于具有水冷水慢化动力反应堆(VVER)的核电站的反应堆设备的发展,已经研究出了两种蒸汽发生器设计:立式蒸汽发生器和卧式蒸汽发生器。在第一种情况下,蒸汽发生器具有立式压力容器和嵌入卧式管板中的立式U形热交换管。在第二种情况下,蒸汽发生器具有卧式压力容器和嵌入主回路冷却剂的立式入口集管和出口集管中的卧式热交换管。当前,这两种设计理念都发展成完善的但却不同的技术趋势。本发明涉及卧式蒸汽发生器理念,涉及该卧室蒸汽发生器在结合有VVER型反应堆的反应堆设备中的应用。

[0005] 根据本发明的背景,具有不同的卧式蒸汽发生器设计,这些设计具有不同的可靠性、尺寸、产能、热交换管束的元件密度、内部构件布置、单位结构的特定金属量等。

[0006] 1993年10月14日公开的国际申请W09320386(IPC:F22B1/02)中公开的蒸汽发生器具有卧式压力容器和安装在该压力容器中的卧式热交换管束,管嵌入主回路冷却剂的立式入口集管和出口集管中。给水供应装置位于热交换管束的中心,这在填充有热交换表面的蒸汽发生器容器中导致明显的水平中断。由于缺少填充有热交换管的蒸汽发生器压力容器,导致低功率、单位结构中增加的特定金属量和反应堆设备的蒸汽发生器的低持久性。

[0007] 2010年12月20日公布的俄国实用新型专利NO.100590(IPC:F22B37/00)公开了一种卧式蒸汽发生器。卧式蒸汽发生器包括容器,该容器具有焊接到该容器的各端的椭圆形底部,该底部包括具有平盖的套圈,根据所要求的实用新型,平均套圈高度和套圈孔径之间的比值在0.1和0.9之间。该技术方案被设计成减小蒸汽发生器尺寸,以有助于将其从制造工厂运送到其装配场所并且增加蒸汽发生器箱中的可用空间。由于更短的套圈,减小了纵向尺寸,但是不改变蒸汽发生器压力容器的长度,即装置不减小单位结构中的特定金属量。

[0008] 与俄国制造的VVER反应堆相似的异国反应堆是PWR型反应堆(压水反应堆)。具有PWR型反应堆的反应堆设备通常装备有立式蒸汽发生器。

[0009] 与上述具有立式压力容器的蒸汽发生器不同,卧式蒸汽发生器由于其设计而具有下列已知的独特方面:

[0010] -慢化的蒸汽负荷允许应用简单的分离方案,同时可靠地保证蒸汽所需的含水量,

[0011] -副回路中慢化的介质流率消除了热交换管和蒸汽发生器的其它元件中的振动危害,

[0012] -主回路的立式筒形入口集管和出口集管防止了在其表面上的污泥沉积物积聚,由此减少热交换管在所述集管中的插入区域处的腐蚀损坏的危害,

[0013] -副回路中增加的水供应提高了在使用紧急供水系统的情况下通过蒸汽发生器冷却反应堆的可靠性,并且这种蒸汽发生器的储备能力减轻了反应堆设备的过渡模式,

[0014] -即使在水面低于上排热交换管的情况下,热交换表面的水平位置也在主回路中提供了可靠的自然介质循环,

[0015] -在紧急情况下为主回路冷却剂自然循环提供了有利条件,

[0016] -允许从主、副回路侧方便地接近热交换管束以便于维修和控制。在下部蒸汽发生器压力容器不存在热交换管,污泥可能沉积和积聚在其中,因此,在腐蚀性杂质积聚在蒸汽发生器压力容器的下部时,可以将污泥冲洗通过排污系统和喷嘴。

[0017] 根据本发明的背景,存在涉及核工业的发明,包括基于立式蒸汽发生器工程经验的卧式蒸汽发生器的研发。例如,1994年7月19日公布的美国专利US5331677 (IPC:F22B37/00)公开了一种装备有压水反应堆的反应堆设备,包括反应堆、冷却剂泵、蒸汽发生器,该冷却剂泵具有连接到反应堆容器出口的入口,该蒸汽发生器具有在所述泵的出口处连接到高温管线的入口和连接到反应堆容器的入口的低温管线的出口。蒸汽发生器具有水平延伸的容器,该容器中具有水平的U形热交换管束。热交换管插入立式管板中。由于单位结构中高的特定金属量、制造复杂性、实现连接到管板的热交换器的密封性的复杂性,在卧式蒸汽发生器设计中应用管板具有缺点。管板的应用使得不允许在这种蒸汽发生器中安装大量管,因此它们十分长。上述蒸汽发生器的设计与反应堆设备中水平就位的立式蒸汽发生器设计近似相同。反应堆设备的一个特别方面在于其蒸汽发生器中的少量管,这是因为在分配室中安装了一个管板,即整个热交换表面由单个U形的管道环路构成。因此,热交换管很长,且其侧壁很薄。这降低了反应堆设备的工作可靠性,因为其蒸汽发生器具有较低的热交换管堵塞裕量和热交换管在主回路侧的较高的液压阻力,这对事故传播具有不利的影

[0018] 蒸汽发生器的径向布置是反应堆设备的另一缺点,该缺点导致增大的反应堆建筑尺寸。这增加了安全壳的复杂性和基建范围。

[0019] 在可靠性和成本效益方面,VVER-1000反应堆在俄国和国外的现有核电站中被得以充分地证明。当然,在工作过程中定期确定需要改进的反应堆设备组件和部件。

[0020] 因此,2014年7月27日公布的俄国实用新型专利No.143541 (IPC:G21C1/03)公开了一种VVER-1000反应堆设备(RP),该反应堆设备具有四个主回路冷却剂循环环路,各循环环路包括PGV-1000蒸汽发生器和反应堆冷却剂泵(RCP)。RP主回路冷却剂循环环路包括两个部分。第一部分是连接RP和蒸汽发生器的热循环管线,第二部分是冷循环管线,该冷循环管线用于使用RCP将主回路冷却剂从蒸汽发生器泵送到反应堆。各RP循环环路的作用是使主回路冷却剂通过蒸汽发生器和RCP不受约束地从反应堆移出和被转移到反应堆。蒸汽发生器的主要作用是由于通过主回路冷却剂从核反应堆芯传递到蒸汽发生器的热量而产生干燥饱和蒸汽。RP、蒸汽发生器和RCP通过具有850mm内径(DN850)的焊接管道连通。RP通过主循环管线连接到蒸汽发生器,该主循环管线具有以1340mm的半径弯曲的立式管道。在主回路水头下方发生全部主回路系统的热膨胀和振动。冷却剂的高温和压力影响管道弯曲和

焊接连接,这可能导致其损坏到破裂的程度。特别地,为了防止损坏,该实用新型被设计成在循环管线上焊接No.111。

[0021] 为了解决以上问题,该实用新型提出经由小集管连接蒸汽发生器热集管和热循环管线,使得热循环管线从小集管的下端到热循环管线弯曲部的长度不超过0.25m,并且冷循环管线的长度被设计成与热循环管线的长度相匹配。

[0022] 该实用新型的缺点是增加了蒸汽发生器设计和制造的复杂性。建议通过另外的焊接连接将附加的小集管焊接到主出口集管上,由于可能无法维修该小集管,因此降低了蒸汽发生器和反应堆设备的工作可靠性。

发明内容

[0023] 本发明的目的是提高反应堆设备的性能,这是由于增大了蒸汽发生器压力容器中的热交换管的数量而不显著增加其尺寸,使其可以安装在反应堆建筑箱中,而不增加基建范围。

[0024] 另外,蒸汽发生器热交换管的数量对于增加蒸汽发生器动力以改善蒸汽参数(特别是压力)很重要,改善蒸汽参数进而允许提高反应堆设备的效率。增加蒸汽发生器压力容器中的热交换管的数量还提高了其耐久性,因为在一个或多个管道故障的情况下,它们可能被堵塞,而由于附加的热交换管的可用性,装置可以继续工作。当用作反应堆设备的一部分的蒸汽发生器压力容器中的热交换管的数量增加时,反应堆设备被更有效地冷却,即反应堆芯中的临界热通量比增大。蒸汽发生器压力容器中的热交换管数量的增加还减少了容器的单位结构中的特定金属量,因为在更小的容器中提高了装置产能。

[0025] 本发明应用的技术成果包括由于增加的安装在容器中的热交换管数量而增加的蒸汽发生器的热交换速率、可靠性和耐久性,和U形管道的可维修性和制造的容易性,以及同时实现的蒸汽发生器压力容器的单位结构中的减少的特定金属量。

[0026] 本发明应用的技术成果还包括反应堆设备的增加的可靠性、耐久性和效率、反应堆设备的蒸汽发生器的减少的单位结构的特定金属量及其制造的容易性。

[0027] 为了解决当前的问题,本文要求保护用于具有水冷水慢化动力反应堆的反应堆设备的卧式蒸汽发生器,该卧式蒸汽发生器具有筒形压力容器、内部构件、连接至热交换管束的主回路冷却剂入口集管和出口集管,该压力容器至少配备有一个给水供应连接管、一个蒸汽去除连接管和两个椭圆形底部,该热交换管束构成蒸汽发生器的热交换表面,并且通过管间通道分成多个管组,其中,基于下列比值选择主回路冷却剂集管中心线之间沿蒸汽发生器压力容器的横向方向的距离S: $0.4 \leq \frac{S}{D_{vess}} \leq 0.6$,其中, D_{vess} 是蒸汽发生器压力容器

内径,并且基于下列比值选择沿着椭圆形底部的内表面的蒸汽发生器长度 L_v :

[0028]

$$L_v = D_{vess} + 2 \cdot \left[\left(ctg\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right) \cdot \left(\frac{B_1}{2} + B_2 + \left(\frac{\pi \cdot D_{head}}{4 \cdot S_{head}} - 1 \right) \cdot S_h \right) + \left(\frac{\pi \cdot D_{head}}{4 \cdot S_{head}} - 1 \right) \cdot S_h \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \Delta \right] + \frac{H_{hes} \cdot 10^6}{\pi \cdot d \cdot N_{tb}}$$

[0029] 其中: D_{head} 是钻孔部分处的冷却剂集管外径,mm,

[0030] α 是热交换管的中心弯曲角度,度,

[0031] B_1 是热交换管的中央管间通道的宽度,mm,

[0032] B_2 是与冷却剂集管相对的热交换管管间通道的宽度,mm,

[0033] S_{head} 是冷却剂集管的外表面上的热交换管周向间距,mm,

[0034] S_h 是热交换管束的水平排中的热交换管之间的间距,mm,

[0035] H_{hes} 是蒸汽发生器的热交换表面面积, m^2 ,

[0036] N_{tb} 是蒸汽发生器的热交换管数量,个,

[0037] d 是热交换管外径,mm,

[0038] Δ 是沿着蒸汽发生器的纵轴线从热交换管束外管到蒸汽发生器底部内表面的距离,其中,从下列范围选择热交换管的中心弯曲角度 α 和距离 Δ : $90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ 和 $300 \leq \Delta \leq 1000mm$ 。

[0039] 将最大数量的热交换管安装在蒸汽发生器中同时保证可维修性、可靠性和热传递效率的可能性取决于根据上述经验关系对主回路冷却剂集管的中心线之间沿蒸汽发生器压力容器的横向方向的距离S的选择。

[0040] 反应堆建筑中的反应堆设备布置取决于对长度 L_v 的选择,因为四个大的蒸汽发生器难以安装在有限的安全壳空间中。另外,根据本发明选择的蒸汽发生器压力容器长度 L_v 保证了制造构成蒸汽发生器的热交换表面的热交换管束的U形管道的容易性,这对于反应堆设备的完整性和可靠工作是必要的。

[0041] 根据本发明,蒸汽发生器的热交换管束从蒸汽发生器壳体底面向上连续地填充有热交换管,其中相邻的管之间的竖向间隙不超过管束中的管的竖向间距。管束通过管间通道分成多个管组。竖向管间通道的宽度介于100mm和250mm之间。水平的热交换管插入主回路冷却剂的竖向集管中的孔中。在与冷却剂集管的连接位置处,热交换管的弯曲部应具有至少60mm(优选地至少100mm)的半径。为了满足冷却剂集管侧壁的结构需要,其在外表面上的钻孔面积应超过用于热交换管的连接而在其上钻出的孔的面积至少20%。

[0042] 另外,蒸汽发生器可以至少包括下列内部构件:位于热交换管束上方的给水供应和分配装置、位于蒸汽空间中的紧急给水供应和分配装置、用于在蒸汽发生器冲洗期间供应化学试剂的装置、水下穿孔板和顶部穿孔板。

[0043] 本发明的第二目的是一种具有水冷慢化动力反应堆和卧式蒸汽发生器的反应堆设备,该反应堆设备包括核反应堆,该核反应堆具有四个循环环路,各循环环路包括蒸汽发生器、反应堆冷却剂泵和主回路冷却剂主循环管线,该蒸汽发生器具有水平的热交换管束,该热交换管束通过管间通道分成多个管组并且连接到位于具有椭圆形底部的筒形压力容器内部的主回路冷却剂集管,其中,基于下列比值分别选择压力容器孔径 D_{vess} 、主回路冷却剂集管的中心线之间沿横向方向的距离S和沿着椭圆形底部的内表面的蒸汽发生器长度 L_v :

$$[0044] \quad 0.148 \cdot D + 0.637 \cdot \sqrt{0.054 \cdot D^2 + 3.142 \cdot \frac{N_{tb} \cdot S_h \cdot S_v}{k}} \leq D_{vess} \leq 1.827 \cdot H$$

$$[0045] \quad 0.4 \leq \frac{S}{D_{vess}} \leq 0.6$$

[0046]

$$L_v = D_{\text{head}} + 2 \cdot \left[\left(\text{ctg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) - \frac{1}{\sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \right) \cdot \left(\frac{B_1}{2} + B_2 + \left(\frac{\pi \cdot D_{\text{head}}}{4 \cdot S_{\text{head}}} - 1 \right) \cdot S_h \right) + \left(\frac{\pi \cdot D_{\text{head}}}{4 \cdot S_{\text{head}}} - 1 \right) \cdot S_h \cdot \frac{1}{\sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} + \Delta \right] + \frac{H_{\text{hes}} \cdot 10^6}{\pi \cdot d \cdot N_{\text{tb}}},$$

[0047] 其中:D是蒸汽发生器的额定产能,t/h,

[0048] N_{tb} 是蒸汽发生器容器中的热交换管数量,个,[0049] S_v 、 S_h 分别是热交换管束的竖向排和水平排中的热交换管之间的间距,mm,[0050] k 是热交换管束中的热交换管的布置标识(对于平行式布置, $k=1$;对于交错式布置, $k=2$),[0051] H 是蒸汽发生器容器中的管填充高度,mm,[0052] D_{head} 是钻孔区域处的主回路集管外径,mm,[0053] α 是热交换管的中心弯曲角度,度,[0054] B_1 是热交换管的中央通道的宽度,mm,[0055] B_2 是与冷却剂集管相对的热交换管的通道的宽度,mm,[0056] S_{head} 是冷却剂集管的外表面上的热交换管周向间距,mm,[0057] H_{hes} 是蒸汽发生器的热交换表面面积, m^2 ,[0058] d 是热交换管外径,mm,[0059] Δ 是沿着蒸汽发生器的纵轴线从热交换管束外管到蒸汽发生器底部内表面的距离,其中,从下列范围选择热交换管的弯曲角度 α 和距离 Δ :[0060] $90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ 和 $300\text{mm} \leq \Delta \leq 1000\text{mm}$ 。

[0061] 为了提高抗震稳定性,蒸汽发生器和反应堆冷却剂泵可通过液压减震器附装到反应堆建筑物壁部。

[0062] 为了通过工作室温度下降来增加空化裕度,反应堆冷却剂泵可沿着循环环路中的主回路冷却剂流安装在蒸汽发生器的下游。

[0063] 为了提高反应堆设备的工作可靠性,可以在各环路中安装两个反应堆冷却剂泵。即,可以在循环环路的主循环管线的热分支和冷分支上安装反应堆冷却剂泵。通过泵冗余的可能性提高可靠性。

[0064] 在反应堆设备的另一布置中,两个小容量的反应堆冷却剂泵可以并联地安装在主循环管线的冷分支上。这将允许减小泵尺寸,增加可靠性裕度和提高反应堆设备的技术和经济性能。

[0065] 另外,可以在反应堆设备的主循环管线的分支上设置闸阀。这将允许增强反应堆设备的工作可靠性,使其能够将蒸汽发生器与反应堆隔离,和在不关闭反应堆设备的情况下进行维修。

附图说明

[0066] 通过下图示出本发明。

[0067] 图1示出其中安装有反应堆设备的安全壳的水平截面。

[0068] 图2示出蒸汽发生器压力容器的水平截面。

[0069] 图3示出蒸汽发生器压力容器在热交换管与主回路冷却剂集管连接位置处的水平截面细部。

- [0070] 图4示出蒸汽发生器沿着主回路冷却剂入口集管的中心线的横截面。
- [0071] 图5示出交错式布置的热交换管。
- [0072] 图6示出平行式布置的热交换管。
- [0073] 图7示出反应堆设备 (RP) 主回路冷却剂循环环路,其中反应堆冷却剂泵 (RCP) 被安装在主循环管线 (MCP) 的冷分支上。
- [0074] 图8示出RP主回路冷却剂循环环路,其中RCP被安装在MCP冷分支和热分支上。
- [0075] 图9示出RP主回路冷却剂循环环路,其中两个RCP被安装在MCP冷分支上。
- [0076] 图10示出RP主回路冷却剂循环环路,其中闸阀被安装在MCP冷分支和热分支上。

具体实施方式

[0077] 反应堆设备设施 (包括蒸汽发生器) 及其安全系统将安装在NPP反应堆室中。反应堆室包括增压部分和不增压部分。主回路设备和反应堆通常安装在增压部分中。

[0078] 图1示出其中安装有反应堆设备的安全壳1的水平截面。安全壳被设计成预应力钢筋混凝土圆柱体,例如对于VVER-1000工程,其厚度是1.2m,其内径是45m,高度是52m。

[0079] 通过主循环管线 (MCP) 3连接到蒸汽发生器4的该反应堆2位于安全壳1的中央部分。反应堆冷却剂泵 (RCP) 5用于使主回路冷却剂 (增压水) 通过MCP从蒸汽发生器4泵送到反应堆2和返回。为了保持压力和加热或冷却期间补偿冷却剂的体积变化,在反应堆设备中附加地应用了增压器6。如图1所示,蒸汽发生器4比安全壳中的任何其它反应堆设备设施占据更大的面积。然而,社会的发展需要NPP增加发电量和增加反应堆设备动力并因此增加了蒸汽发生器的热交换表面和尺寸,这几乎不可能适于当前已有的反应堆建筑箱中。另外,由于NPP基建的范围和成本的显著增加,安全壳的面积和尺寸的增加是不经济的。

[0080] 本发明允许通过增加蒸汽发生器压力容器中的热交换管数量来增加蒸汽发生器的传热强度、可靠性和耐久性,这允许在不显著增加尺寸的情况下提高反应堆设备的性能,使得可以将蒸汽发生器安装在具有给定尺寸的安全壳箱中。

[0081] 要求保护的用于具有VVER反应堆的反应堆设备的卧式蒸汽发生器4包括配备有至少一个给水供应连接管8和蒸汽去除连接管9的筒形容器7、两个椭圆形底部10、内部构件、连接至热交换管束13的主回路冷却剂入口集管11和出口集管12,该热交换管束13构成蒸汽发生器的热交换表面,其中,热交换管束通过管间通道16分成管组14和15。为了解决当前的问题,基于下列比值选择主回路冷却剂的集管11和12的中心线之间沿着蒸汽发生器压力容器7的横向方向的距离S: $0.4 \leq \frac{S}{D_{vess}} \leq 0.6$,其中, D_{vess} 是蒸汽发生器压力容器内径,基于

下列比值选择沿着椭圆形底部的内表面测量的蒸汽发生器长度 L_v :

[0082]

$$L_v = D_{vess} + 2 \cdot \left[\left(\operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) - \frac{1}{\sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \right) \cdot \left(\frac{B_1}{2} + B_2 + \left(\frac{\pi \cdot D_{head}}{4 \cdot S_{head}} - 1 \right) \cdot S_h \right) + \left(\frac{\pi \cdot D_{head}}{4 \cdot S_{head}} - 1 \right) \cdot S_h \cdot \frac{1}{\sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} + \Delta \right] + \frac{H_{hes} \cdot 10^6}{\pi \cdot d \cdot N_{tb}}$$

[0083] 其中: D_{head} 是钻孔部分处的冷却剂集管外径,mm,

[0084] α 是热交换管的中心弯曲角度,度,

[0085] B_1 是热交换管的中央管间通道的宽度,mm,

[0086] B_2 是与冷却剂集管相对的热交换管管间通道的宽度,mm,

[0087] S_{head} 是冷却剂集管的外表面上的热交换管周向间距,mm。上述间距测量为从一个热交换管的中心到其在冷却剂集管的外表面上的水平排中相邻的热交换管的中心的距离。

[0088] S_h 是热交换管束的水平排中的热交换管之间的间距,mm。上述间距测量为从一个热交换管的中心到其在冷却剂集管的外表面上的水平排中相邻的热交换管的中心的距离,如图5和6所示。

[0089] H_{hes} 是蒸汽发生器的热交换表面面积, m^2 。蒸汽发生器热交换表面面积测量为热交换管束的表面面积的总和。

[0090] N_{tb} 是蒸汽发生器的热交换管数量,个,

[0091] d 是热交换管外径,mm,

[0092] Δ 是沿着蒸汽发生器的纵轴线从热交换管束的外管17到蒸汽发生器底部10的内表面的距离,单位为mm,其中,从下列范围选择热交换管的中心弯曲角度 α 和距离 Δ : $90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ 和 $300 \leq \Delta \leq 1000\text{mm}$ 。

[0093] 根据本发明,蒸汽发生器热交换管束13从底部向上连续地填充有热交换管,其中相邻的管之间的竖向间隙 b 不超过管束中的管的竖向间距,如图5和6所示。水平的热交换管插入主回路冷却剂的竖向集管11和12中的孔中。如图3所示,在与冷却剂集管的连接位置,热交换管弯曲部将具有至少60mm(优选地至少100mm)的半径 R_h 。

[0094] 蒸汽发生器可以至少包括下列内部构件:位于热交换管束13上方的给水供应和分配装置18、位于蒸汽空间中的紧急给水供应和分配装置19、用于在蒸汽发生器冲洗期间供应化学试剂的装置20、水下穿孔板21和顶部穿孔板22。

[0095] 在蒸汽发生器4工作期间,主回路冷却剂从反应堆2供应到蒸汽发生器入口集管11,沿着热交换管束13分配,并且通过该热交换管束13流到出口集管12,以将其热量传递给锅炉水,即通过热交换表面壁部的副回路冷却剂(介质)。给水通过连接管8和连接到该连接管8的给水供应和分配装置18被供应到蒸汽发生器,构成蒸汽发生器中的锅炉水,并且通过与其中的蒸汽-水混合物混合而被加热。加热到饱和的水被吸入蒸汽发生器循环回路(副回路)。副回路冷却剂在蒸汽发生器热交换表面上沸腾,并且沿着循环回路上升区段向上运动。为了使蒸汽发生器中的水与蒸汽分离,应用单级重力沉降分离。蒸汽通过位于容器7上部的蒸汽管9而被从蒸汽发生器中去除。

[0096] 离开热交换束13的蒸汽通过在沿着管组长度的管间通道16、23中和在蒸汽发生器容器和管束之间的间隙中向下运动的水被补偿。

[0097] 为了计算蒸汽发生器长度 L_v 而提出的经验公式比值基于热交换表面管在蒸汽发生器底部附近弯曲的工艺要求。热交换管束将经三次弯曲成U形。中心弯曲角度介于 90° 和 150° 之间,外部的热交换管束和底部内表面之间的距离在300mm和1000mm之间,这在工艺和技术以及经济考虑方面是必要的。优选的热交换管的中心弯曲角度是 120° 。

[0098] 公式 $0.4 \leq S/D_{vess} \leq 0.6$ 描述了一种蒸汽发生器设计,其中,热交换管组具有几乎相等的宽度。假设热交换管组宽度相等,当 $S/D_{vess} = 0.5$ 时,在其他条件都相同的情况下,最大数量的热交换管可被安装在蒸汽发生器中,这减少了蒸汽发生器压力容器的单位结构中的特定金属量。

[0099] 蒸汽发生器可以装配成集管之间沿横向方向的距离超出规定范围,但是由于没有有效使用容器的内部空间,这种蒸汽发生器中的管道的数量将小于其高效工作所需的数

量。即,如果冷却剂集管的中心线之间沿横向方向的距离 S 为 $S \leq 0.4 \cdot D_{\text{vess}}$,由于下述原因,蒸汽发生器的中央部分中与热交换束区域中的纵向截面相邻的很大空间将保持未填充热交换管。为了将热交换管插入冷却剂集管孔中,它们将具有特定的弯曲半径 R_h (图3),并且端部处的直线部分的长度将超过该管道插入其中的集管壁部中的孔的深度。另外,热交换管弯曲半径将为至少60mm,优选地至少100mm,以插入集管孔中。

[0100] 如果冷却剂集管的中心线之间沿横向方向的距离 S 是 $S \geq 0.6 \cdot D_{\text{vess}}$,由于上述原因,在热交换束的区域中,蒸汽发生器的外围部分中与容器侧壁相邻的很大空间将保持未填充热交换管,为了将热交换管插入冷却剂集管孔中,它们将具有特定的弯曲半径,并且端部处的直线部分的长度将超过该管道插入其中的集管壁部中的孔的深度。

[0101] 制造一种具有选定的容器内径 D_{vess} 、冷却剂集管的中心线之间沿横向方向的距离 S 和(沿椭圆形底部的内表面的)长度 L_v 的蒸汽发生器允许将最大数量的热交换管安装在具有选定尺寸的蒸汽发生器压力容器中,以允许其牢固安装同时在具有最小直径的容器中得到具有所需含水量的蒸汽,并且满足制造U形热交换管的容易性的要求。蒸汽发生器尺寸 D_{vess} 和 L_v 考虑了将其作为反应堆设备的一部分安装在安全壳箱中。

[0102] 图1示出包括所要求保护的蒸汽发生器的反应堆设备。该反应堆设备包括核反应堆2、反应堆冷却剂泵5和主回路冷却剂的主循环管线3,该核反应堆2具有四个循环环路,各循环回路包括蒸汽发生器4,该蒸汽发生器4具有水平的热交换管束13,该热交换管束13通过管间通道16分成管组14和15并且连接到位于具有椭圆形底部10的筒形容器7内部的主回路冷却剂集管11和12,其中,基于下列比值分别选择容器7的内径 D_{vess} 、主回路冷却剂集管11和12的中心线之间沿横向方向的距离 S 和沿着椭圆形底部10的内表面的蒸汽发生器长度 L_v :

$$[0103] \quad 0.148 \cdot D + 0.637 \cdot \sqrt{0.054 \cdot D^2 + 3.142 \cdot \frac{N_{\text{tb}} \cdot S_h \cdot S_v}{k}} \leq D_{\text{vess}} \leq 1.827 \cdot H$$

$$[0104] \quad 0.4 \leq \frac{S}{D_{\text{vess}}} \leq 0.6$$

[0105]

$$L_v = D_{\text{head}} + 2 \cdot \left[\left(\text{ctg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) - \frac{1}{\sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \right) \cdot \left(\frac{B_1}{2} + B_2 + \left(\frac{\pi \cdot D_{\text{head}}}{4 \cdot S_{\text{head}}} - 1 \right) \cdot S_h \right) + \left(\frac{\pi \cdot D_{\text{head}}}{4 \cdot S_{\text{head}}} - 1 \right) \cdot S_h \cdot \frac{1}{\sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} + \Delta \right] + \frac{H_{\text{hes}} \cdot 10^6}{\pi \cdot d \cdot N_{\text{tb}}}$$

[0106] 其中: D 是蒸汽发生器的额定产能,t/h,

[0107] N_{tb} 是蒸汽发生器容器中的热交换管数量,个,

[0108] S_v 、 S_h 分别是热交换管束的竖向排和水平排中的热交换管之间的间距,mm,如图5和6所示,

[0109] k 是热交换管束中的热交换管的布置标识(对于平行式布置, $k=1$;对于交错式布置, $k=2$),

[0110] H 是蒸汽发生器容器中的管填充高度,mm,如图4所示,

[0111] D_{head} 是钻孔区域处的主回路集管外径,mm,

[0112] α 是热交换管的中心弯曲角度,度,

[0113] B_1 是热交换管的中央通道的宽度,mm,

- [0114] B_2 是与冷却剂集管相对的热交换管的通道的宽度,mm,
- [0115] S_{head} 是冷却剂集管的外表面上的热交换管周向间距,mm,
- [0116] H_{hes} 是蒸汽发生器的热交换表面面积, m^2 ,
- [0117] d 是热交换管外径,mm,
- [0118] Δ 是沿着蒸汽发生器的纵轴线从热交换管束外管到蒸汽发生器底部内表面的距离,其中,从下列范围选择热交换管的中心弯曲角度 α 和距离 Δ :
- [0119] $90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ 和 $300\text{mm} \leq \Delta \leq 1000\text{mm}$ 。
- [0120] 为了提高抗震稳定性,蒸汽发生器和反应堆冷却剂泵可以通过液压减震器24附装到反应堆建筑物壁部。
- [0121] 图7-9以四个循环环路之一为例示出所提出的反应堆设备的可选布置方案,指定MCP冷分支为附图标记25,热分支为附图标记26。
- [0122] 为了通过工作室冷却剂温度下降来增加空化裕度,如图7所示,反应堆设备2的冷却剂泵5可沿着循环环路中的主回路冷却剂流在蒸汽发生器4下游安装在MCP 3的冷分支25上。
- [0123] 在图8所示的另一方案中,为了提高反应堆设备的工作可靠性,可以在各循环环路中安装两个反应堆冷却剂泵5。即,可以在循环环路中的主循环管线的热分支26和冷分支25上都安装反应堆冷却剂泵5。通过泵冗余的可能性提高可靠性。
- [0124] 在反应堆设备的另一布置中,两个小容量的反应堆冷却剂泵5可以并联地安装在主循环管线的冷分支25上,如图9所示。这将允许减小泵尺寸,增加可靠性裕度和提高反应堆设备的技术和经济性能。
- [0125] 另外,可以在反应堆设备的主循环管线分支25和26上设置闸阀27,如图10所示。这将允许增强反应堆设备的工作可靠性,使其能够将蒸汽发生器与反应堆隔离并且能够在不关闭反应堆设备的情况下进行维修。
- [0126] 反应堆设备按照如下进行工作。
- [0127] 反应堆设备的流程图是双回路的。主回路有放射性,位于安全壳1中,包括VVER水冷慢化动力反应堆2和MCP 3的四个循环环路,通过反应堆冷却剂泵5将主回路冷却剂(增压水($160\text{kgf}/\text{cm}^2$))通过该MCP 3泵送到反应堆芯2。反应堆入口处的水温约为 289°C ,出口处为 322°C 。在反应堆2中加热的水通过四个MCP管线3供应到蒸汽发生器4中。蒸汽增压器6保持主回路冷却剂的压力和液位。
- [0128] 副回路无放射性,包括蒸发器和给水装置、单元去矿化装置和涡轮发电机(未示出)。主回路冷却剂在蒸汽发生器4中冷却,以将热量传递给副回路水。蒸汽发生器4中产生的饱和蒸汽通过蒸汽去除连接管9和蒸汽集管被供应到涡轮发电机,使电力发生装置旋转。
- [0129] 示例
- [0130] 建造了具有VVER反应堆的NPP。为了提供可靠的反应堆冷却,蒸汽发生器将具有下列参数:
- [0131] -蒸汽发生器热交换表面面积 $H_{\text{hes}}=6000\text{m}^2$ 。
- [0132] 已经为反应堆设备制造了具有下列参数的蒸汽发生器:
- [0133] -每个反应堆设备的蒸汽发生器的蒸汽产能 $D=1500\text{t}/\text{h}$,
- [0134] -主回路集管在钻孔部分处的外径 $D_{\text{head}}=1200\text{mm}$,

- [0135] -热交换管中央通道的宽度 $B_1=200\text{mm}$,
- [0136] -与冷却剂集管相对的热交换管通道的宽度 $B_2=200\text{mm}$,
- [0137] -热交换管外径 $d=16\text{mm}$,
- [0138] -热交换管束的水平排中的热交换管之间的间距 $S_h=24\text{mm}$,
- [0139] -热交换管束的竖直排中的热交换管之间的间距 $S_v=22\text{mm}$,
- [0140] -蒸汽发生器中的热交换管数量 $N_{tb}=10,000$ 个,
- [0141] -热交换管束布置标识 $k=1$,表示平行式布置,
- [0142] -蒸汽发生器容器管填充高度 $H=2300\text{mm}$ 。
- [0143] 根据本发明,从基于下列比值的范围内选择蒸汽发生器压力容器内径 D_{vess} :

$$[0144] \quad 0.148 \cdot D + 0.637 \cdot \sqrt{0.054 \cdot D^2 + 3.142 \cdot \frac{N_{tb} \cdot S_h \cdot S_v}{k}} \leq D_{vess} \leq 1.827 \cdot H$$

$$[0145] \quad 2825\text{mm} \leq D_{vess} \leq 4202\text{mm}。$$

[0146] 从基于下列比值的范围内选择冷却剂集管的中心线之间沿横向方向的距离 S :

$$[0147] \quad 0.4 \leq \frac{S}{D_{vess}} \leq 0.6, \quad \mathbf{1130\text{mm} \leq S \leq 2521\text{mm}}。$$

[0148] 从基于下列比值的范围内选择蒸汽发生器长度 L_v (沿着椭圆形底部的内表面):

[0149]

$$L_v = D_{head} + 2 \cdot \left[\left(ctg\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right) \cdot \left(\frac{B_1}{2} + B_2 + \left(\frac{\pi \cdot D_{head}}{4 \cdot S_{head}} - 1 \right) \cdot S_h \right) + \left(\frac{\pi \cdot D_{head}}{4 \cdot S_{head}} - 1 \right) \cdot S_h \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \Delta \right] + \frac{H_{hes} \cdot 10^6}{\pi \cdot d \cdot N_{tb}},$$

[0150] $90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ 且 $300\text{mm} \leq \Delta \leq 1000\text{mm}$, 则 $13,790\text{mm} \leq L_v \leq 16,807\text{mm}$ 。

[0151] 如果蒸汽发生器压力容器内径 D_{vess} 小于2825mm,则将不可能借助于间隔件将热交换管牢固地安装在这种蒸汽发生器中,因而将没有用于间隔件的剩余空间,并且将无法满足蒸汽发生器设计可靠性要求。内径超过4202mm的蒸汽发生器压力容器对于安装在反应堆设备中而言是不经济的,因为它增加了其单位结构中的特定金属量,而没有提高所产生的蒸汽中的含水量和设备效率,但是增加了安全壳尺寸。蒸汽发生器包括相同的热交换表面,因此,冷却剂在反应堆设备的MCP中保持在相同的温度范围内。因此,在芯部中,临界热通量比不会增大。

[0152] 小于13,790mm的蒸汽发生器长度 L_v (沿着椭圆形底部的内表面)没有为管束中的U形管提供最好的弯曲和紧固性能,因为管弯曲角度超过 150° ,管束外管和容器底部之间的距离小于300mm,这妨碍了管束支承件的安装。

[0153] 大于16,807mm的蒸汽发生器长度 L_v (沿着椭圆形底部的内表面)是不合理的,因为蒸汽发生器压力容器长度的增加没有提高诸如脱水性的蒸汽质量指标,并且因为蒸汽发生器长度没有由于更多的热交换管或热交换表面面积而增加,而是通过更接近的弯曲角度和热交换管束与蒸汽发生器底部之间的过大间隙这一点,热交换表面面积保持恒定为 6000m^2 。这导致反应堆设备的蒸汽发生器的单位结构中的特定金属量增加,而不增加芯部中的临界热通量比或提高蒸汽发生器中的蒸汽含水量和压力参数,同时增加了安全壳尺寸,而对反应堆设备工作没有任何积极的技术效果。

[0154] 如果冷却剂集管的中心线之间沿横向方向的距离 S 被选择成至少1130mm,则蒸汽发生器的热交换管束的中央部分没有填充管。为了将热交换管紧固在主回路冷却剂(集管)

侧壁中的孔中,其端部将具有直线部分,该直线部分具有超过该孔的深度的长度。如果条件不满足,则该热交换管不能就位和紧固到冷却剂集管侧壁孔中。因此,如果蒸汽发生器热交换管束的中央部分没有填充管,将不允许在蒸汽发生器中设置特定数量的热交换管或提供特定尺寸的热交换表面,这将损害反应堆设备的性能指标。

[0155] 如果冷却剂集管的中心线之间沿横向方向的距离 S 被选择成大于2521mm,则将不可能在蒸汽发生器压力容器侧壁附近安装热交换管束,这将不允许提供特定的热交换表面积和反应堆设备的性能指标。

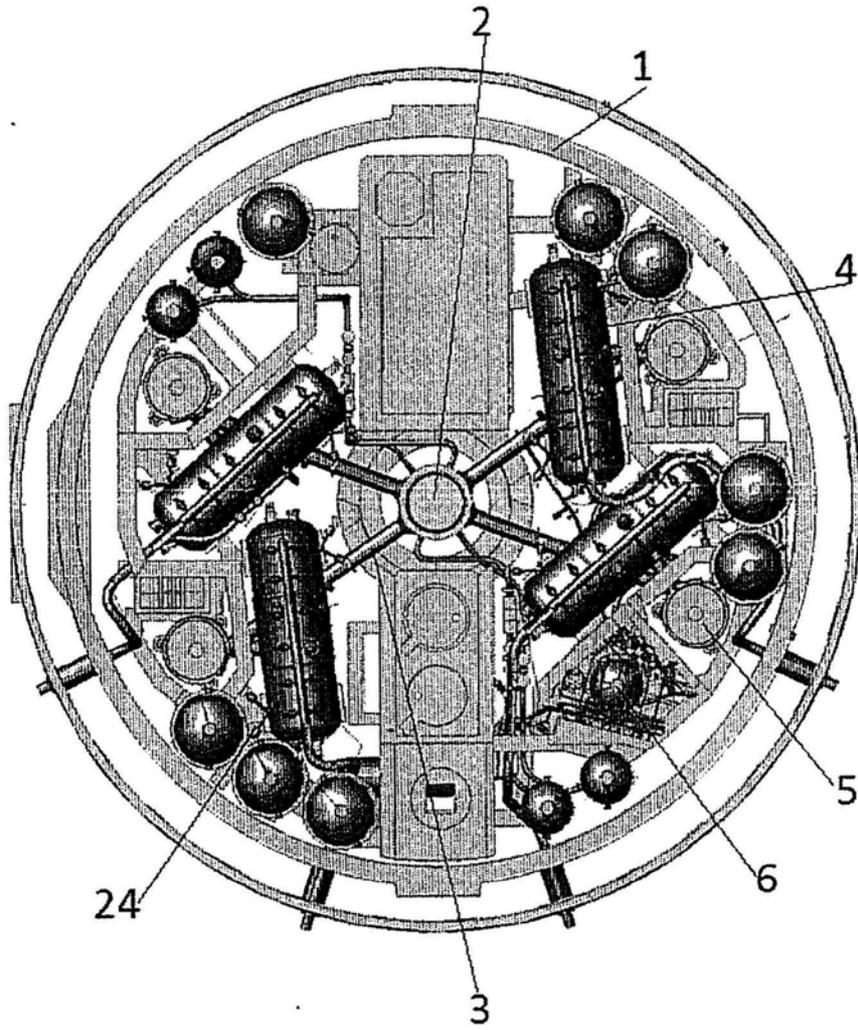


图1

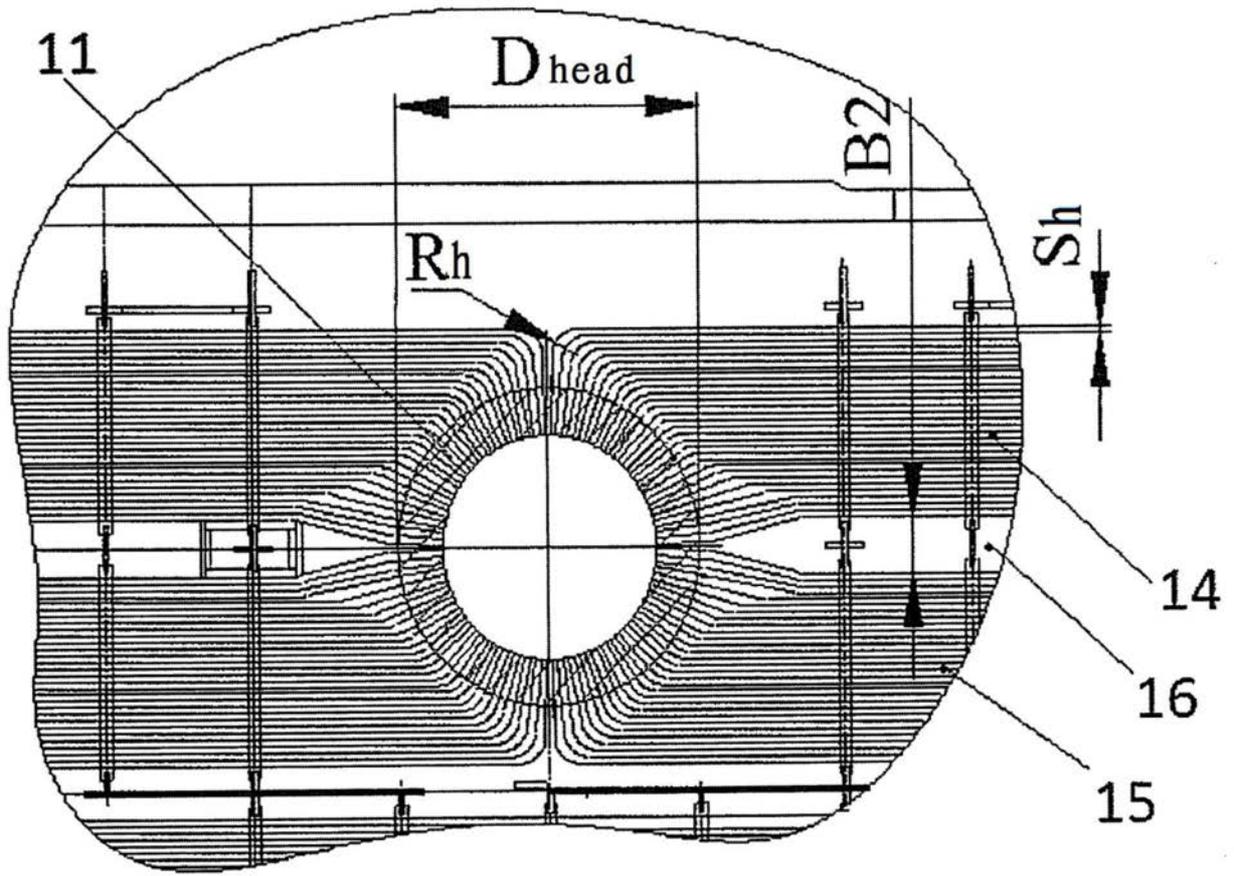


图3

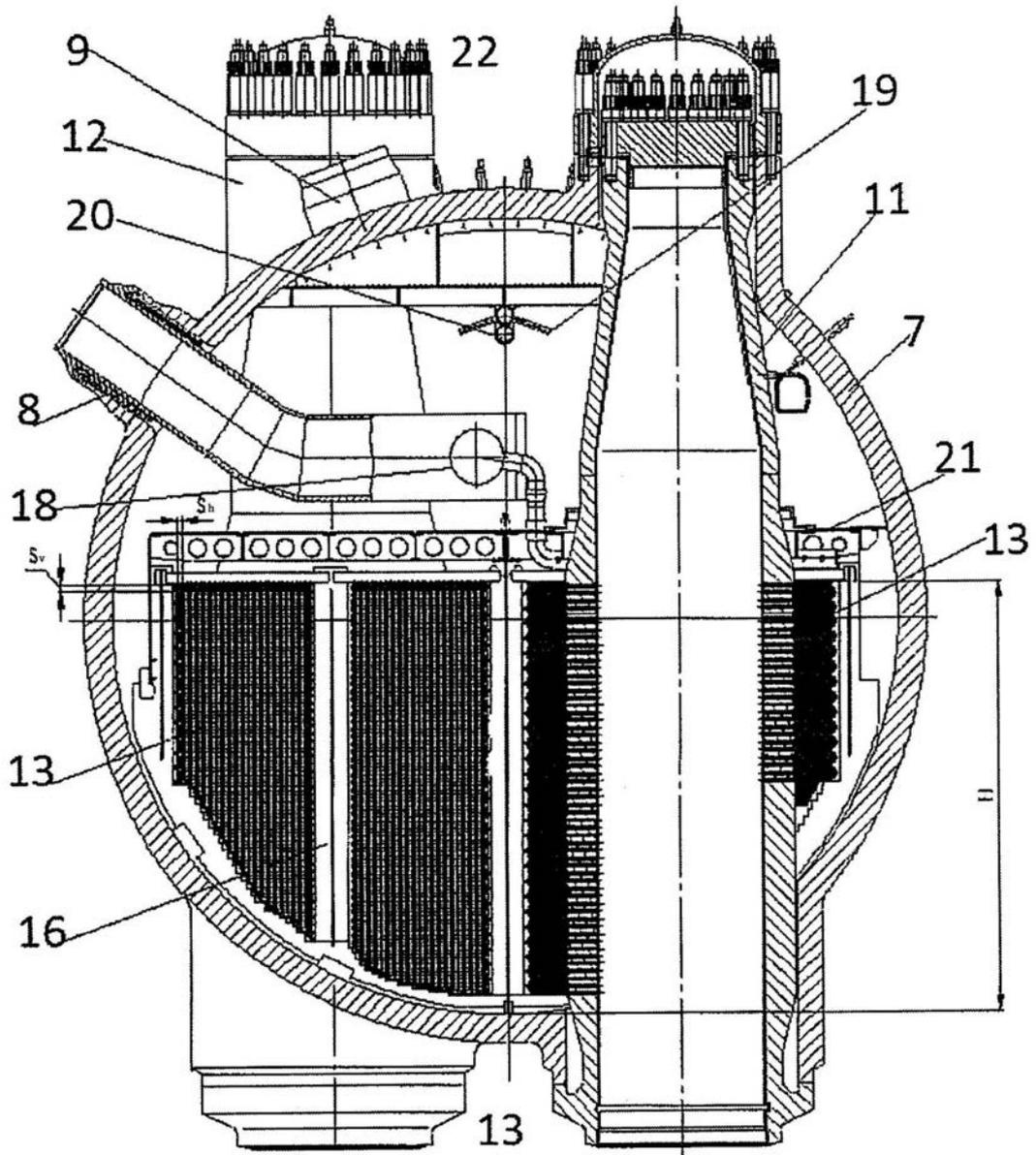


图4

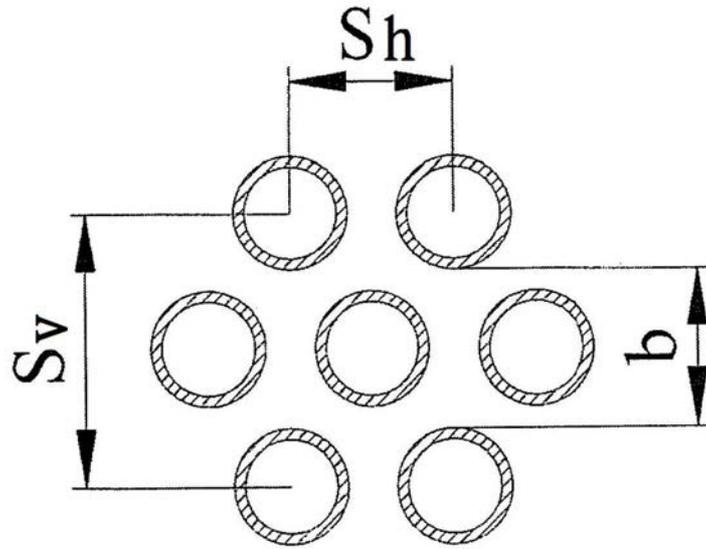


图5

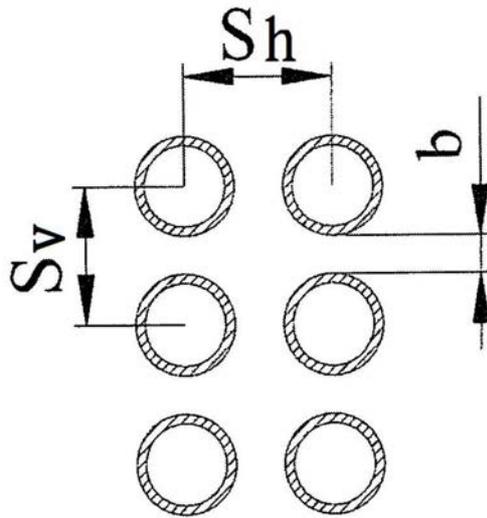


图6

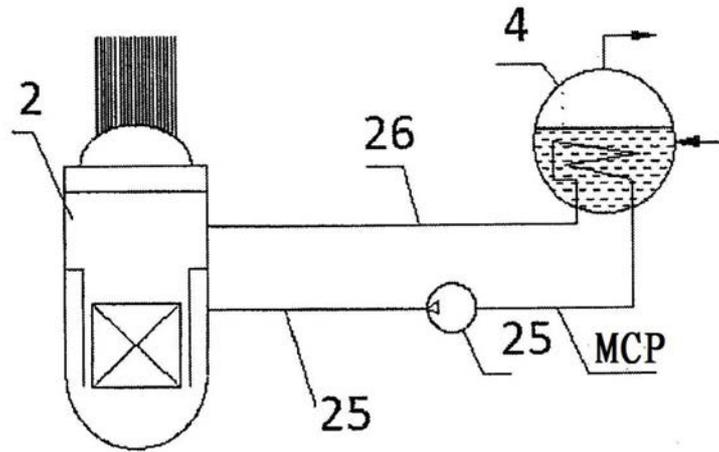


图7

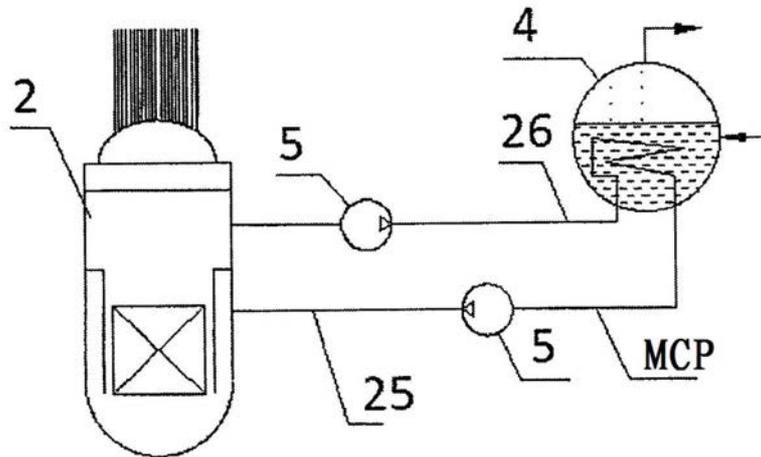


图8

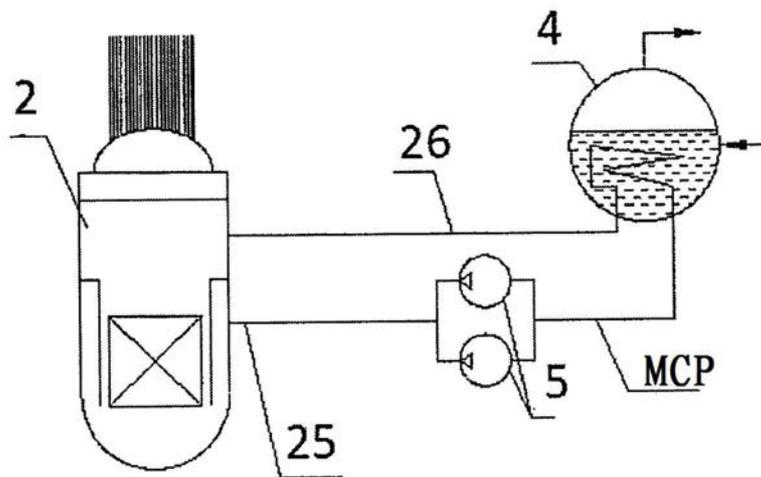


图9

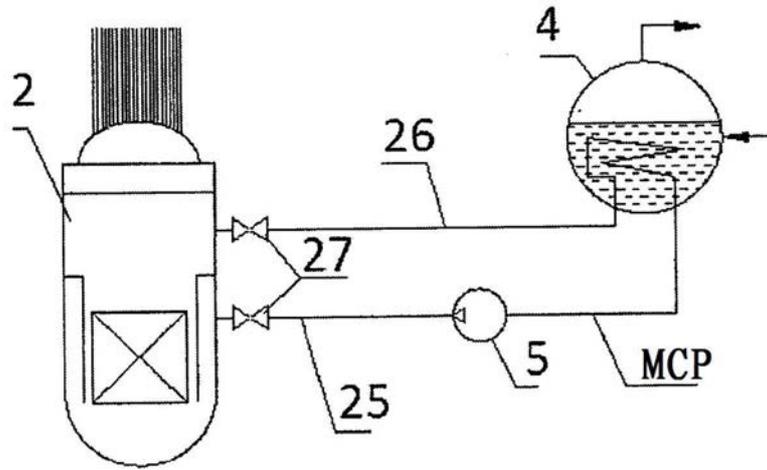


图10