



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105431908 A

(43) 申请公布日 2016. 03. 23

(21) 申请号 201480022027. 9

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

(22) 申请日 2014. 03. 17

11105

代理人 葛飞

(30) 优先权数据

61/794, 206 2013. 03. 15 US

14/215, 530 2014. 03. 17 US

(51) Int. Cl.

G21C 9/00(2006. 01)

G21C 11/00(2006. 01)

G21C 13/10(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2015. 10. 13

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2014/030393 2014. 03. 17

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/200600 EN 2014. 12. 18

(71) 申请人 BWXT m 动力股份有限公司

地址 美国北卡罗来纳州

(72) 发明人 J. D. 马洛伊三世 B. E. 宾厄姆

R. C. 沃森 J. G. 威廉 M. W. 阿莱斯

J. B. 英曼 S. M. 博伊尔

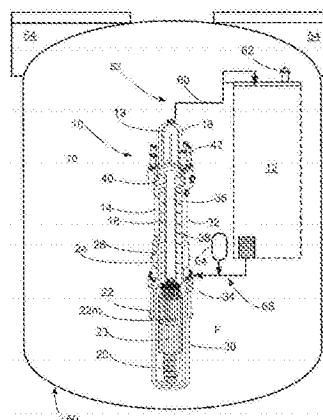
权利要求书3页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

用于长期反应堆冷却的无源技术

(57) 摘要

在压力水反应堆 (PWR) 中, 通过穿过注入线路将水从水体排到压力容器中, 应急堆芯冷却 (ECC) 响应于由于压力容器的顶部的容器渗透破裂引起的减压。屏障与 ECC 同时操作以抑制液态水从压力容器流出容器渗透件破裂。屏障可以包括下述一个或多个: (1) 注入线路延长, 其穿过中心升管以将水排入中心升管中; (2) 中心升管的下部部分中的开口, 其将一些向上流动从中心升管分流到环形下导管的下部部分; 以及 (3) 浪涌线路, 其提供压力容器的顶部处的加压器体积与朝环形下导管向外侧引导水的压力容器的剩余部分之间的流体连通。



1. 一种装置,包括:

加压水反应堆 (PWR),其包括压力容器,所述压力容器含有包括可裂变材料的核反应堆堆芯;

放射性保护壳结构,所述 PWR 置于所述放射性保护壳结构内侧;

应急堆芯冷却系统,其配置成响应于通过穿过注入线路将水从水体排到所述压力容器中导致所述压力容器减压的在所述压力容器顶部处的容器渗透件破裂;以及

屏障,其配置成与所述应急堆芯冷却系统同时操作,以抑制液态水从所述压力容器流出所述压力容器的顶部处的容器渗透件破裂。

2. 根据权利要求 1 所述的装置,其中,所述 PWR 还包括中心升管,所述中心升管置于所述压力容器内侧,并且限定冷却剂循环路径,其中,由所述核反应堆堆芯加热的冷却水在所述中心升管内侧向上流动,离开所述中心升管的顶部开口,并且在所述中心升管与所述压力容器之间限定的环形下导管中向下流动,以返回至所述核反应堆堆芯,并且所述屏障包括:

所述注入线路的延长,其置于所述压力容器的内侧,并且穿过所述中心升管以将水从所述水体排入所述压力容器的中心升管中。

3. 根据权利要求 2 所述的装置,其中,所述注入线路的延长包括置于所述中心升管内侧的向下定向的出口管端。

4. 根据权利要求 2 所述的装置,其中,所述水体包括与所述 PWR 一起置于所述放射性保护壳中的换料贮水箱 (RWST)。

5. 根据权利要求 4 所述的装置,其中,所述应急堆芯冷却系统还包括:

加压水注入箱,其配置成在所述压力容器的减压期间,将加压水注入所述压力容器中;

其中,所述注入线路配置成在所述压力容器减压之后,将水从所述 RWST 排入所述压力容器中。

6. 根据权利要求 2 所述的装置,其中,所述 PWR 还包括集成加压器,其限定所述压力容器的顶部处的加压器体积,所述集成加压器包括可操作以控制所述加压器体积中的压力的压力控制元件。

7. 根据权利要求 6 所述的装置,其中,所述压力容器包括位于所述集成加压器下方的容器渗透件上的无源集成隔离阀,由此导致所述压力容器减压的任何容器渗透件破裂发生在容器渗透件处以进入所述压力容器的顶部处的集成加压器。

8. 根据权利要求 2 所述的装置,其中,所述屏障还包括所述中心升管的下部部分中的开口,其布置成将所述中心升管中的向上流动的部分分流到所述环形下导管的下部部分。

9. 根据权利要求 1 所述的装置,其中,所述 PWR 还包括中心升管,其置于所述压力容器内侧,并且限定冷却剂循环路径,其中,由所述核反应堆堆芯加热的冷却水在所述中心升管内侧向上流动,离开所述中心升管的顶部开口,并且在所述中心升管与所述压力容器之间限定的环形下导管中向下流动,以返回至所述核反应堆堆芯,并且所述屏障包括:

所述中心升管的下部部分中的开口,其布置成将所述中心升管中的向上流动的部分分流到所述环形下导管的下部部分。

10. 根据权利要求 9 所述的装置,其中,所述 PWR 还包括:

集成加压器,其限定所述压力容器的顶部处的加压器体积,所述集成加压器包括可操作以控制所述加压器体积中压力的压力控制元件;以及

无源集成隔离阀,其位于所述集成加压器下方的容器渗透件上,由此导致所述压力容器减压的任何容器渗透件破裂发生在容器渗透件处以进入所述压力容器的顶部处的集成加压器。

11. 根据权利要求 1 所述的装置,其中:

所述 PWR 还包括:

中心升管,其置于所述压力容器内侧,并且限定冷却剂循环路径,其中,由所述核反应堆堆芯加热的冷却水在所述中心升管内侧向上流动,离开所述中心升管的顶部开口,并且在所述中心升管与所述压力容器之间限定的环形下导管中向下流动,以返回至所述核反应堆堆芯,以及

集成加压器,其限定所述压力容器的顶部处的加压器体积,并且包括可操作以控制所述加压器体积中压力的压力控制元件;并且

所述屏障还包括浪涌线路,其配置成提供所述压力容器的顶部处的加压器体积与所述压力容器的剩余部分之间流体连通,所述浪涌线路配置成朝所述环形下导管向外侧引导水。

12. 一种方法,包括:

操作加压水反应堆 (PWR),所述加压水反应堆包括压力容器,所述压力容器含有包括可裂变材料的核反应堆堆芯;以及

响应于通过各操作导致所述压力容器减压的在所述压力容器顶部处的容器渗透件破裂,所述操作包括:

穿过注入线路将水从水体排到所述压力容器中;以及

在排水期间,抑制液态水从所述压力容器流出所述容器渗透件破裂。

13. 根据权利要求 12 所述的方法,其中,所述抑制液态水从所述压力容器流出所述容器渗透件破裂的操作包括:

在排水期间,在所述压力容器中产生逆流,其方向与操作期间在所述压力容器中的冷却水流相反。

14. 根据权利要求 12 所述的方法,其中,所述 PWR 还包括置于所述压力容器内侧的中心升管,所述操作包括将冷却水在所述中心升管内侧向上并且在所述中心升管与所述压力容器之间限定的环形下导管中向下循环,并且抑制液态水从所述压力容器流出所述容器渗透件破裂的操作包括:

将所述水从所述水体注入至所述中心升管中。

15. 根据权利要求 14 所述的方法,其中,所述注入包括将所述水从所述水体通常向下的注入至所述中心升管中。

16. 根据权利要求 14 所述的方法,其中,所述抑制液态水从所述压力容器流出所述容器渗透件破裂的操作还包括:

将所述中心升管中的冷却水的向上流动的部分通过所述中心升管中的孔分流并且进入所述环形下导管的下部部分,而所述分流的水不能到达所述中心升管的顶部。

17. 根据权利要求 12 所述的方法,其中,所述 PWR 还包括置于所述压力容器内侧的中心

升管,所述操作包括将冷却水在所述中心升管内侧向上并且在所述中心升管与所述压力容器之间限定的环形下导管中向下循环,并且抑制液态水从所述压力容器流出所述容器渗透件破裂的操作包括:

将所述中心升管中的冷却水的向上流动的部分通过所述中心升管中的孔分流并且进入所述环形下导管的下部部分,而所述分流的水不能到达所述中心升管的顶部。

18. 根据权利要求 12 所述的方法,其中,所述 PWR 还包括 (i) 中心升管和 (ii) 集成加压器,其限定所述压力容器的顶部处的加压器体积,其中:

所述操作包括 (i) 将冷却水在所述中心升管内侧向上并且在所述中心升管与所述压力容器之间限定的环形下导管中向下循环,并且 (ii) 操作所述集成加压器的压力控制元件,以控制所述加压器体积中的压力,并且

抑制液态水从所述压力容器流出所述容器渗透件破裂的操作包括朝所述环形下导管向外侧引导所述加压器体积与所述压力容器的剩余体积之间的浪涌流。

19. 根据权利要求 12 所述的方法,其中,所述水体包括与所述 PWR 一起置于放射性保护壳中的换料贮水箱 (RWST),并且所述方法还包括:

使用所述 RWST 作为换料期间再填充所述压力容器的水源将所述 PWR 换料。

20. 根据权利要求 12 所述的方法,其中,所述响应于导致所述压力容器减压的在所述压力容器顶部处的容器渗透件破裂还包括在所述压力容器减压期间,将加压水注入所述压力容器的操作。

21. 根据权利要求 12 所述的方法,其中,所述 PWR 还包括集成加压器,所述集成加压器限定所述压力容器的顶部处的加压器体积,并且所述方法还包括:

通过提供位于所述集成加压器下方的容器渗透件上的无源集成隔离阀,防止任何冷却剂损失事故 (LOCA) 由所述集成加压器下方的容器渗透件处的破裂来产生。

用于长期反应堆冷却的无源技术

技术领域

[0001] 本申请在由 DE-NE0000583 号能源合作协议的支持的工作过程中构思。能源部可能在本申请中具有某些权利。

[0002] 本申请要求于 2013 年 3 月 15 日提交的题目为“用于长期反应堆冷却的无源技术 (PASSIVE TECHNIQUES FOR LONG-TERM REACTOR COOLING)”的 61/794,206 号美国临时申请的优先权,2013 年 3 月 15 日提交的题目为“用于长期反应堆冷却的无源技术”的 61/794,206 号美国临时申请的全文通过引用并入于此。

背景技术

[0003] 以下涉及核能发电技术、核反应堆安全性技术、核反应堆应急堆芯冷却 (ECC) 技术,以及相关技术。

[0004] 在冷却剂损失事故 (LOCA) 中,核反应堆堆芯浸在水中,以便提供用于去除衰变热,并且防止可能引起化学反应和空气中释放性物质释放的燃料杆暴露于空气中。提供这种注水的系统称为应急堆芯冷却 (ECC) 系统。在通常的布置中,换料贮水箱 (RWST) 与核反应堆位于放射性安全壳内侧,以在反应堆换料期间提供用于使用的水,并且该 RWST 还作为 ECC 系统的水源。RWST 位于反应堆堆芯的上方,以使无源 ECC 系统可以通过重力驱动水流来操作。

[0005] 由 ECC 系统注入减压压力容器中的水由来自核反应堆堆芯的衰变热转换成蒸汽。优选地,该蒸汽是通过冷凝将其收复在 RWST 中,以便形成闭合回路再循环热交换系统。在实践中,一些蒸汽从引起 LOCA 的破裂损失。该损失的蒸汽冷凝周边放射性安全壳内侧,从而有助于来自反应堆堆芯的热传递,尽管未以再循环的方式。在一些实施例中,水收集在安全壳贮槽中,并且提供贮槽泵以将水再循环返回 RWST 中。然而,如果柴油发电机或其它电源驱动的贮槽泵失效,该方法容易出故障,而且可能将污染传递至可干涉 ECC 系统操作的 RWST 中。

发明内容

[0006] 在一个公开的方面,一种装置包括:加压水反应堆 (PWR),其包括压力容器,该容器含有包括可裂变材料的核反应堆堆芯;放射性保护壳结构,PWR 置于其内侧;应急堆芯冷却系统,其配置成响应于通过穿过注入线路将水从水体排到压力容器中导致压力容器减压的在压力容器顶部处的容器渗透件破裂;以及屏障,其配置成与应急堆芯冷却系统同时操作,以抑制液态水从压力容器流出压力容器的顶部处的容器渗透件破裂。屏障可以包括下述一个或多个:(1) 注入线路的延长,其置于压力容器的内侧,并且穿过中心升管以将水从水体排入压力容器的中心升管中;(2) 中心升管的下部部分中的开口,其布置成将中心升管中的向上流动的部分分流到环形下导管的下部部分;以及(3) 浪涌线路,其配置成提供压力容器的顶部处的加压器体积与压力容器的剩余部分之间流体连通,该浪涌线路配置成朝环形下导管向外侧引导水。

[0007] 在另一公开的方面,一种方法包括:操作加压水反应堆(PWR),其包括压力容器,该容器含有包括可裂变材料的核反应堆堆芯;并且响应于通过各操作导致压力容器减压的在压力容器顶部处的容器渗透件破裂,该操作包括:穿过注入线路将水从水体排到压力容器中;并且在排水期间,抑制液态水从压力容器流出容器渗透件破裂。抑制可以包括在排水期间在压力容器中例如通过将水从水体注入到中心升管来产生逆流,其方向与操作期间在压力容器中的冷却水流相反。另外地或可替代地,抑制可以包括将中心升管中的冷却水的向上流的一部分通过中心升管中的孔分流并且进入环形下导管的下部部分,而分流的水不能到达中心升管的顶部。另外地或可替代地,抑制可以包括朝环形下导管向外侧引导加压器体积与压力容器的剩余体积之间的浪涌流。

附图说明

[0008] 本发明可以采取各种部件和部件的布置,以及各种处理操作和处理操作的布置形式。附图仅用于说明优选实施例的目的,而不应被解释为限制本发明。本公开包括以下附图。

[0009] 图1示出了置于放射性安全壳结构中的说明性的小模块化反应堆(SMR)连同换料贮水箱(RWST)与利用RWST的应急堆芯冷却(ECC)的示意剖面透视图,并且其还包括一示意地说明机构,用于通过LOCA破裂抑制液态水的损失。

[0010] 图2至图4示意地示出了用于通过LOCA破裂抑制液态水损失的机构的说明性实施例。

具体实施方式

[0011] 参照图1,剖面透视图示出了说明性的小模块化反应堆(SMR)10和说明性的换料贮水箱(RWST)12(通常,提供两个或多个RWST用于冗余)。SMR单元10是压水反应堆(PWR)种类,并且包括压力容器14和置于压力容器14内的一个或多个集成蒸汽发生器16(即,说明性SMR10是集成的PWR10)。可替代地,也可以采用外部蒸汽发生器。SMR10还包括将集成加压器体积限定在压力容器14顶部的集成加压器18;可替代地,可以采用的外部加压器通过合适的管道连接在SMR10的顶部。压力容器14包括核反应堆堆芯20,其包括浸在(一次)冷却水(在本文中更一般地,简单的“冷却剂”或“冷却水”)中的可裂变材料,诸如 ^{235}U (通常以合金、复合材料、混合物或者其它的形式)。因为反应堆堆芯20浸在冷却水中,并且当控制杆驱动机构(CRDM)22至少部分地撤回由中子吸收材料制成的控制时,核链式反应在加热(一次)冷却水的核反应堆堆芯20中开始。说明性CRDM22是内部CRDM,其中,包括具有转子和定子的其电动机22m的CRDM单元置于压力容器14中,并且引导框架支撑件23引导位于堆芯上方的控制杆的部分;在其它实施例中,可以采用内部CRDM单元。在说明性集成PWR10中,单独的水流(二次冷却剂)分别经由供水进口24和蒸汽出口26进入和离开蒸汽发生器16。二次冷却剂流过蒸汽发生器16的二次冷却剂通道,并且通过来自(一次)冷却水承载的反应堆堆芯的热量转换成蒸汽。可替代地,如果采用外部蒸汽发生器,随后,大直径闭合回路管道将(一次)冷却水从压力容器供至外部蒸汽发生器,其中来自一次冷却剂的热量将外部蒸汽发生器中的二次冷却剂流转换成蒸汽。说明性集成PWR10的压力容器14包括容纳核反应堆堆芯20的下部部分30和容纳蒸汽发生器16的上

部部分 32,与连接压力容器的上部部分和下部部分的中间凸缘 34;然而,压力容器可以是其它构造或其它配置。

[0012] 压力容器 14 内侧的一次冷却剂流动回路 F 由在反应堆堆芯 20 上方向上延伸的圆柱中心升管 36 和限定在中心圆柱升管 36 与压力容器 14 之间的环形下导管来限制。流动 F 可以通过自然循环来驱动(即,由反应堆堆芯 20 加热的一次冷却剂上升穿过中心圆柱升管 36,在顶部排出,并通过环形下导管 38 向下流动),或者可以由反应堆冷却剂泵(RCP)协助或驱动,诸如说明性 RCP 包括 RCP 壳体 40,其包括由 RCP 电机 42 驱动的叶轮。可替代地,RCP 可以位于沿一次冷却剂路径的别处,或者完全在自然循环反应堆中省略。再次指出的是,本说明性 SMR10 仅是说明性示例,并且公开的 ECC 技术适合地采用基本上任何类型的轻水核反应堆。

[0013] 继续参照图 1,示意性剖视图示出了置于放射性保护壳结构 50 中的 SMR10(本文中还称为“放射性保护壳”或简单地“保护壳”)连同换料贮水箱(RWST)12。尽管示出了单个 RWST 12,但应当理解的是,两个或多个 RWST 可以置于保护壳内侧以提供冗余和/或提供水更大的总体积。RWST 12 适合多种用途。顾名思义,在常规换料期间(即,除去包括核反应堆堆芯的废燃料并且用新鲜燃料更换),其提供用于使用的水。在某些事故情况下,RWST12 还作为用于使用的水储备,诸如热沉损失事件,其中经由蒸汽发生器 16 或其它热沉路径的热沉被中断,使反应堆压力容器 14 中的压力和温度上升;或者冷却剂损失事故(LOCA),其中,破裂发生在(相对大直径)管道或与压力容器 14 连接的容器渗透件中。

[0014] 图 1 示意性示出了响应于包括蒸汽 52(可能以两相蒸汽/水混合物 52 的形式)从其漏出的破裂的 LOCA。在图 1 中,这样的 LOCA 示意性的表示为源于压力容器 14 的顶部处的集成加压器 18 的附近。在一些实施例中,SMR10 设计成消除高度等于或低于反应堆堆芯 20 的顶部处发生破裂的 LOCA 的可能性。这可以通过设位于反应堆堆芯 20 顶部的上方的具有所有大直径的容器渗透件(例如,图 1 的实施例中的蒸汽发生器联接器 24、26)的压力容器 14 来完成。如本文所使用的,“大直径”容器渗透件限定为直径为 1.8 英寸或更大的容器渗透件。另外或可替代地,可以采用用于大直径容器渗透件的无源集成隔离阀,使得容器渗透件处的任何管道破裂由集成隔离阀立即和无源地密封。例如,在补给线路或其它水输入线路的情况下,无源集成隔离阀可以构造成构建于安装法兰中的止回阀(而并未在易于破裂的外部管道中或由其连接),其无源地操作,以防止冷却剂从具有集成阀的法兰中流出。在下降线路的情况下,无源集成隔离阀可以与将阀保持在抵抗流体经由下降线路流出的压力的打开位置的弹簧偏压来构造,弹簧偏压被选择为使得(差分)向外压力增加到阈值以上从而克服弹簧偏压无源地关闭阀。此外,优先地,集成隔离阀构建在安装法兰中。

[0015] 通过这样的措施,可以确保任何 LOCA 破裂发生在高度远高于反应堆堆芯 20 的顶部处。在说明性压力容器 14 中,易于构成 LOCA 破裂的仅大直径容器渗透件位于压力容器 14 的顶部的集成加压器 18 处。在这样的 LOCA 情况下,从压力容器 14 的集成加压器 18 中漏出的蒸汽/水 52 由放射性保护壳 50 容纳,并且释放的能量经由合适的传递机构喷射到最终的热沉(UHS)54。在说明性的图 1 中,热传递由包括位于包含可 50 的顶部并与保护壳 50 的顶部热接触的大水体的 UHS 54 之间的直接热接触来(至少部分地)实现。另外,无源应急堆芯冷却(ECC)被激活,其使用连接至加压器 18(在图 1 的说明性示例中,或别处的其它反应器设计)的阀使反应堆 10 减压,以从压力容器 14 排至 RWST 12。该操作示意由承

载要在 RWST 12 中重新凝聚的来自加压器 18 的蒸汽（或两相的蒸汽 / 水混合物）的蒸汽路径 60 示意性的表示。由压力容器排至 RWST 导致的 RWST 12 中的任何过压力经由蒸汽排气孔 62 从 RWST 中漏出。而减压的反应堆中，水从两个（用于冗余，或多于两个用于进一步冗余）氮气加压中间压力喷射罐（IPIT，其中说明性的 IPIT64 在图 1 中示出）最初地注入到反应堆容器中，以保证在减压期间，反应堆堆芯 20 保持浸在冷却水中。在 IPIT 64 中的水选择性地包含硼或其它中子毒物，以促进核链式反应的迅速停工。一旦反应堆 10 减压，在 RWST 12（或多个 RWST，如果两个或更多冗余 RWST 单元被提供在保护壳内侧）中的水经由从 RWST 12 运行到反应堆压力容器的注入线路 66 排入反应堆容器 14 中，从而再填充容器 14（注意，在说明性的图 1 中，注入线路 66 的下游部分还提供了输入路径，用于来自 IPIT 64 的水，在这种情况下，提供合适的阀，以在初始的减压之后关闭 IPIT 64。阀是选择性无源的，例如，当压力容器 14 中的压力下降到低于设定点时，自动地关闭。还设想到经由来自注入线路 66 的分离线路将 IPIT 与反应堆压力容器连接）。在 RWST（多个）12 中的水提供用于反应堆堆芯 20 的长期冷却。

[0016] RWST12 是便利地位于放射性保护壳结构 50 内侧的大水体，因此是通过 ECC 系统使用的有吸引力的水体；然而，可以替代地设想将注入线路 66 连接到另一适合的大水体，其位于相应于反应堆堆芯 20 的高度位置处，以便排入压力容器 14 中，从而提供应急堆芯冷却（ECC）。

[0017] 在减压期间，预期的是，以蒸汽形式的实质的一次冷却剂将经由导致 LOCA 的破裂离开压力容器 14。ECC 系统启动之后，预期的是，蒸汽将继续经由破裂离开压力容器 14，虽然比初始减压期间的质量流速更低。在一些实施例中，RWST（多个）12 的体积容量设计成足以除去对于设计时间间隔，例如一些实施例中的 72 小时，或在其它实施中的 14 天的衰变热，而无需使用贮槽泵再循环来自保护壳贮槽的水。这避免了污染物从贮槽传递至 RWST 的可能性。

[0018] 由于 ECC 系统依赖于水从 RWST12 到压力容器 14 的重力供给，所以有必要 RWST12 中的水位高于压力容器 14 中的水位，以使 ECC 进行操作。在一些实施例中，RWST12 中的初始水位高于压力容器 14 的顶部，在该实施例中，预期的是，反应器容器 14 中的水位将上升到加压器 18 的顶部，并且液态水将通过 LOCA 破裂流出。然而，一旦 RWST12 中的水位下降到加压器 18 的顶部以下，可以预期的是，从破裂中流出的水将由大部分的水转变成基本上所有的蒸汽。该转变允许 RWST 水储存的有效利用。因此水的热容量包括潜热，用于将水转换成蒸汽。

[0019] 然而，RELAP（Reactor Excursion and Leak Analysis Program，反应堆漂移和泄漏分析程序）长期冷却的分析表明，并非必然如此；相反地，具有较大水含量的两相蒸汽 / 水混合物不断离开 LOCA 破裂，甚至 RWST12 中的水位已经排出低于 LOCA 破裂的水平。不受限于任何具体的操作理论，但据信，该作用由如下方面导致。来自反应堆堆芯 20 的衰变热产生蒸汽，这降低反应堆堆芯 20 以上的水的密度。该效果防止在反应器容器 14 中的水 / 蒸汽柱与 RWST12 中的水柱之间建立的平衡。因此，驱动头部的较高的 RWST 继续推动破裂外部的水。

[0020] 该问题的大小通过一个简单的计算来说明，对于核岛设计的执行基本上类似于图 1 中所示的，其中，RWST（或多个 RWST）的容量约 350000 加仑，RWST 中的初始水位在 95 英

尺的高度,并且 LOCA 破裂在高程上低 10 英尺的点处,即在 85 英尺处。在 120° F 时,RWST 中的水具有 61.71b/ft³(磅/立方英尺)的密度。在 15psia 时,饱和水具有 59.81b/ft³的密度,并且蒸汽具有 0.0381b/ft³的密度。如果至容器的 ECC 入口(即,至图 1 所示的压力容器 14 的注入线路 66 的入口)具有 31 英尺的高度和 1%的平均质量(即,在 RWST 中流动的水几乎是具有很少或没有蒸汽含量的纯水),反应堆内侧的密度是 3.581b/ft³。在这种情况下,RWST 中的水位需要下降到约 34 英尺(其是一些设想实施例中的 RWST 的底部以下 7 英尺)的高度,以便达到平衡静压头。

[0021] 返回参照图 1,为了补偿该效果,在本文中公开的是,中心升管 36(或循环一次冷却剂的其它向上流动路径)中的总质量降低,或额外的压降并入 ECC 注入系统中。为此,在图 1 中示意性示出的屏障机构 70 被执行,以抑制中心升管 36(或循环一次冷却剂的其它向上流动路径)中的液态水向上通过至 LOCA 破裂的流动。屏障 70 可采取各种形式,如下所述。在一些实施例(在本文中参照图 2 所描述的)中,屏障 70 包括将由中心升管 36 容纳的体积与内部加压器体积 19 连接的路径修改。这种方法形成屏障 70 作为直接物理屏障,即限制液态水从中心升管 36 流入内部加压器 18 的挡板或曲折路径。在一些实施例(在本文中参照图 3 所描述的)中,屏障 70 包括修改 ECC 系统,使得,以倾向于在与压力容器 14 内侧的一次冷却剂流动回路 F 相反的方向上驱动循环的方式,水从 RWST 12 注入到中心升管 36 中。这通过减缓甚至颠倒一次冷却剂流动回路 F 的速度间接地形成了屏障 70,以便限制液态水从中心升管 36 流入内部加压器 18 中。在一些实施例中(在本文中参照图 4 所示的),屏障 70 包括提供的旁路阀,其将一次冷却剂流动回路 F 的向上流动分支的一部分从中心升管 36 转移至环形下导管 38。这通过减小中心升管 36 中向上流动的体积在此间接地形成了屏障 70,以便限制液态水从中心升管 36 流入内部加压器 18 中。应当理解的是,这些机构并不相互排斥,并且屏障 70 可以包括这些机构或其变体中的两个或多个的组合。

[0022] 一般而言,在 LOCA 之后,反应堆容器 14 中产生的蒸汽量由堆芯衰变热来确定。在不改变设备功率电平的情况下,这不能由设计者来改变。然而,升管 36 中的质量可以通过增加升管中水的流动,通过构建要配置成具有一定蒸汽的水压力容器 14 来进行提高。为此,流动路径设置有屏障 70,以便在反应堆容器 14 的顶部分离蒸汽和水,反应堆容器 14 的顶部允许水流至压力容器 14 的底部,其中,其可以再次带走堆芯中的蒸汽。

[0023] 以允许过量的水被分离并引导返回至压力容器 14 的底部的方式,高质量的天然循环路径应与加压器 18 相互配合。然而,在集成加压器的情况下难以实现,这是因为流动路径设计成准许容纳在中心提升 36 中的体积与集成加压器 18 的容积 19 之间相对无流体连通。

[0024] 参照图 2,尤其是图 2 的插图,当 RWST 12 具有足够的驱动头部,以填充反应堆容器 14,二相流上升,并且通过延伸穿过泵支撑板 82 的立管 80,进入加压器 18(更一般地,立管 80 从压力容器体积的其余部分穿过板分离加压器空间 19。注意,在图 2 的插图中,为了清晰起见,说明性的 RCP 40、42 被移除,留下泵支撑板 82 中的其位置处的安装开口 84。更一般地,RCP 可以位于别处,或者在自然循环反应堆中可以完全省略。)在反应堆减压期间,浪涌管道 80 提供排入加压器空间 19 中的蒸汽。在正常操作期间,例如由挡板等以收缩的方式提供水经由其穿过的浪涌线路 86,以允许加压器 18 中的压力并且压力容器 14 的剩余部分达到平衡。在正常操作期间,例如电阻加热器、喷雾器等的压力控制元件 88 可操作以提

高或降低加压器体积 19 中的压力,同时浪涌线路 86 允许将这些变化传递至压力容器 14 的下部操作部分。

[0025] 然而,在减压期间,浪涌线路 86 允许收集在加压器中的水通过浪涌线路 86 排出。该流被引导到在中心升管 36 中上升的上升两相蒸汽/水流中。这禁止了水的自然流动,增加了升管中的平均质量。

[0026] 在图 2 的屏障 70 的实施例中,加压器浪涌线路 86 修改成沿路径 90 流出,路径 90 引导水通过反应堆冷却剂泵,随后向下穿过蒸汽发生器 16 的管。(更一般地,修改后的浪涌线路 90 朝环形下导管向外侧引导水,并且也适合应用在不采用 RCP 或沿一次冷却剂流动回路将 RCP 位于别处的实施例中。)在正常反应堆的操作期间,这些修改后路径 90 可以用作浪涌线路,或者响应于过压状况,可以由无源阀来打开。在另一可替代实施例中,省略路径 90,取而代之的无源过压关闭阀安装在浪涌线路 86 上,以在 ECC 操作期间关闭这些线路,使得仅有立管 80 提供进入加压器体积 90 的蒸汽运输路径。

[0027] 参照图 3,在屏障 70 的另一实施例中,传统地供至环形下导管 38 的压力容器 14 的注入线路 66 的入口通过添加延长管道 100 来修改,以便供至中心升管 36。可选地,延长管道 100 具有向下导向的出口管端 102,以便从 RWST 12 向下引导注入的冷却剂。如在图 3 中示意性示出的,其产生与由来自反应堆堆芯 20 的衰变热驱动的压力容器 14 内侧的一次冷却剂流动回路 F 相反取向的冷却剂循环流 -F。在一些实施例中,逆流 -F 的大小足以实际上颠倒在压力容器 14 中循环的方向,而在其它实施例中,逆流 -F 的大小小于流 F 的大小,但足以减缓流 F 的速度。逆流 -F 与通过加压器的水的流出一致,从而降低由中心升管 36 中的当前向上的流 F 驱动的水流入加压器体积 19 的影响。当 ECC 流足够低,或者如果通过蒸汽发生器(在实施例中,包括内部蒸汽发生器 16)的补救操作模式,一些热量去除是可用的,逆流 -F 可以被中断。

[0028] 参照图 4,在屏障 70 的另一实施例中,循环式样 108 使用在芯筒(或容器中心升管 36 的其它下部部分)中的开口 110 来创建,以使中心升管 36 中的向上流动的部分分流到环形下导管 38 的下部部分中,而不会向上穿过至接近加压器 18。开口 110 可以是孔、具有流二极管(即,止回阀)的孔或无源打开旁通阀,以尽量减少正常旁路流量。这允许下部容器中的自然循环流 108。流 108 可以在正常的方向(如图所示)或在相反的方向上。

[0029] 应当理解的是,用于实现参照图 2 至图 4 所描述的屏障 70 的公开机构仅是说明性的,并且可以以各种方式进行组合。作为另一说明性的示例,如果 RCP 位于压力容器的下部下部,使得在 ECC 操作期间,其被浸没,并且如果电驱动电源是可用的,则可以设想的是,通过逆行操作 RCP,至少部分地实现屏障 70,以便以有源方式提供逆流 -F(参见图 3)。(虽然这样的操作可能是相对低效的,因为叶轮片并非设计用于逆行操作,但 RCP 仍然预期能够产生足以有效地降低 LOCA 破裂外的水流的逆流 -F。)在压力容器顶部发生 LOCA 破裂的情况下,例如,在进入集成加压器的容器渗透件(如图 1-图 4 所示),或压力容器的顶部与外部加压器之间的管道处,或连接在该外部加压容器的顶部(变体未示出)处的管道处发生 LOCA 破裂的情况下,公开的屏障 70 有效的用于加压水反应堆(PWR)。如本文所使用的,诸如“压力容器的顶部”的术语包括进入集成加压器 18 的容器渗透件中的任何破裂,其是较大的足以构成 LOCA(即,在直径大于 1.8 英寸的管道中的任破裂)。在外部加压容器的情况下(即,使用经由管道连接的外部加压器加压的压力容器),“压力容器的顶部”包括较大的

足以在高度较高足以位于压力容器中的一次冷却剂回路以上的容器渗透件中构成 LOCA 的任何破裂。更进一步地,虽然在压力容器 14 的内侧,蒸汽发生器 16 设置其中的集成 PWR 系统被示出,但是设想采用利用外部蒸汽发生器的 PWR 系统中的屏障 70 的公开的实施例。

[0030] 已经说明和描述了优选的实施例。显然,在阅读并理解了前述的详细描述的情况下,将可能发生修改和改变。本发明被解释为包括所有的这些修改和改变,只要其落入所附权利要求或其等同物的范围之内。

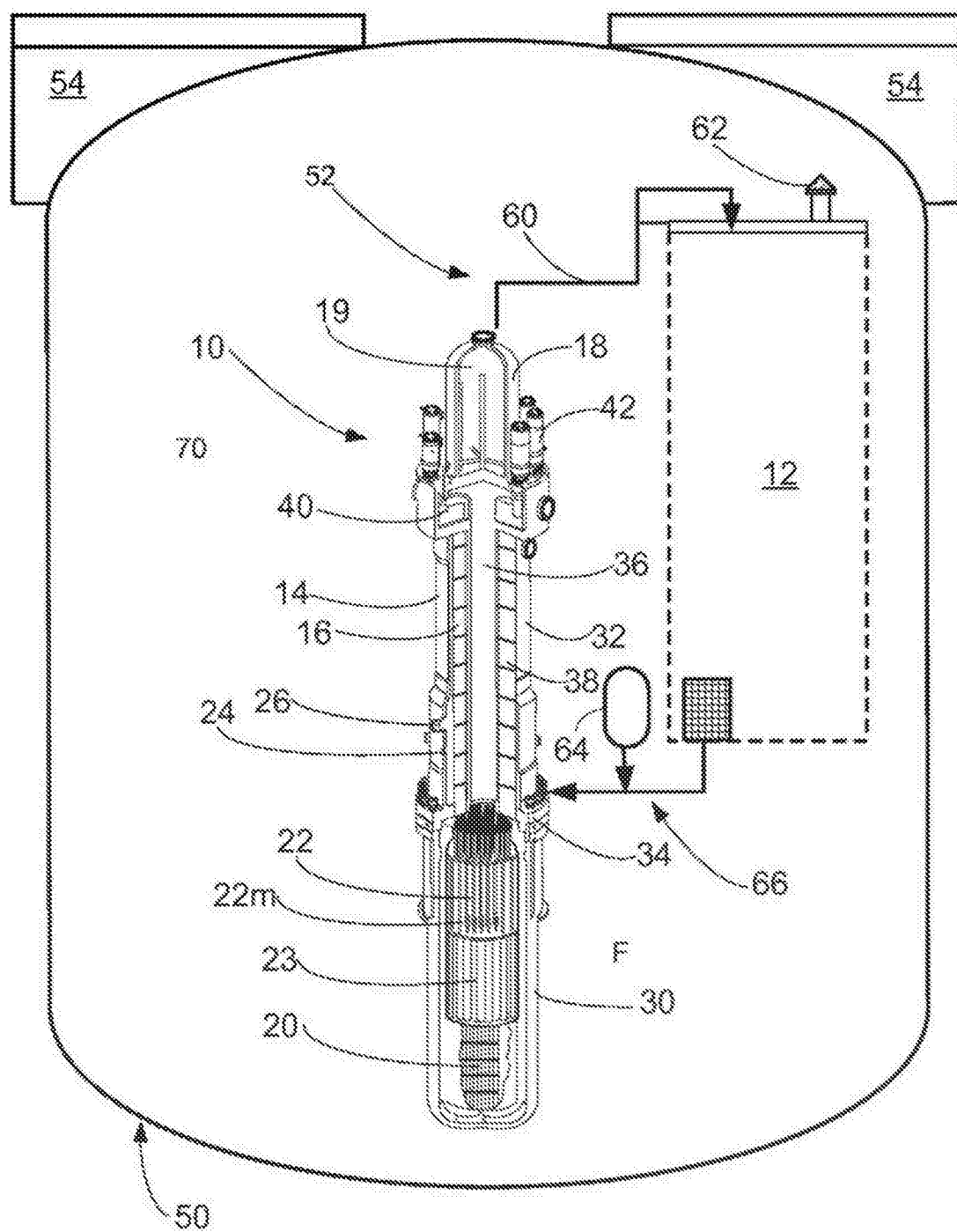


图 1

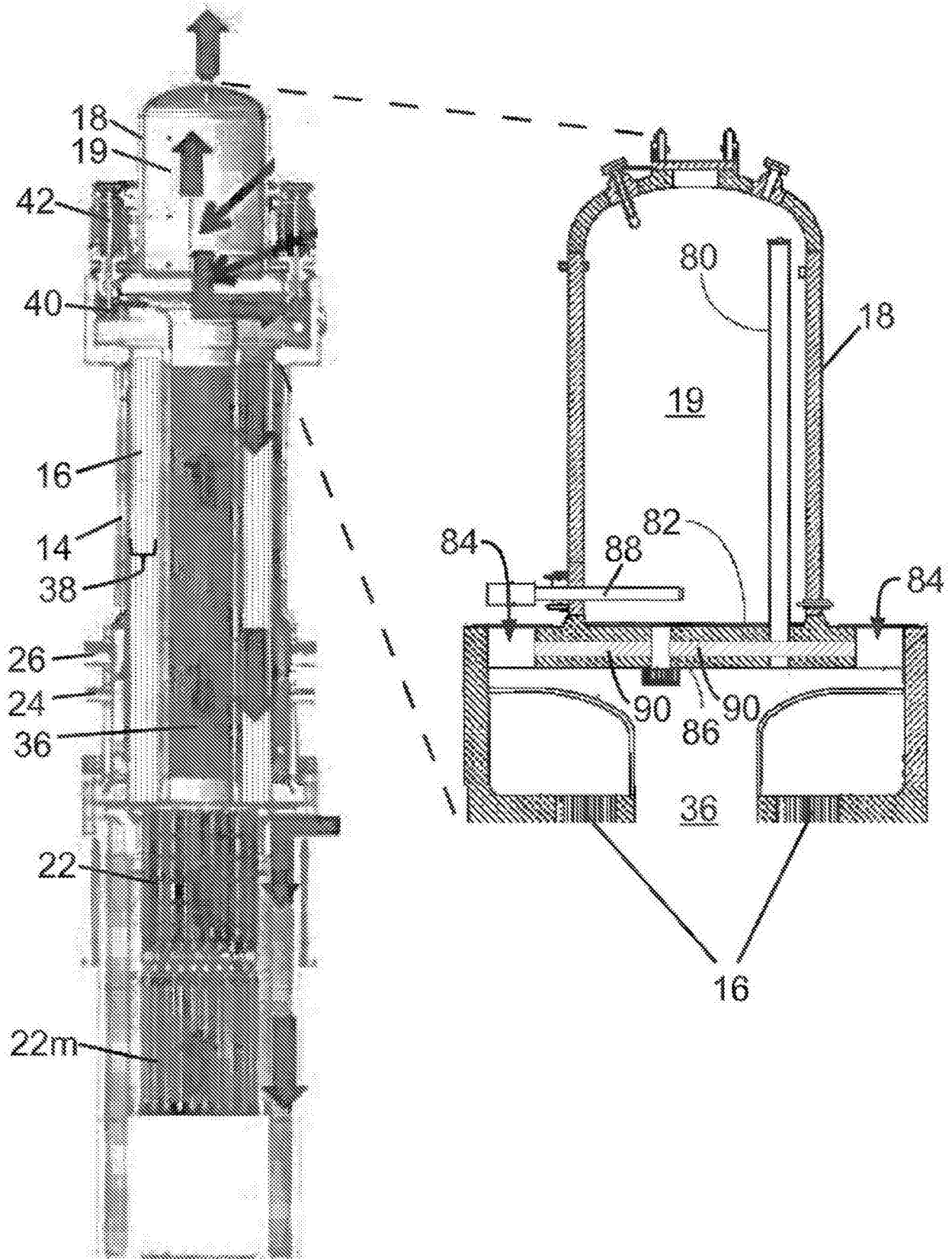


图 2

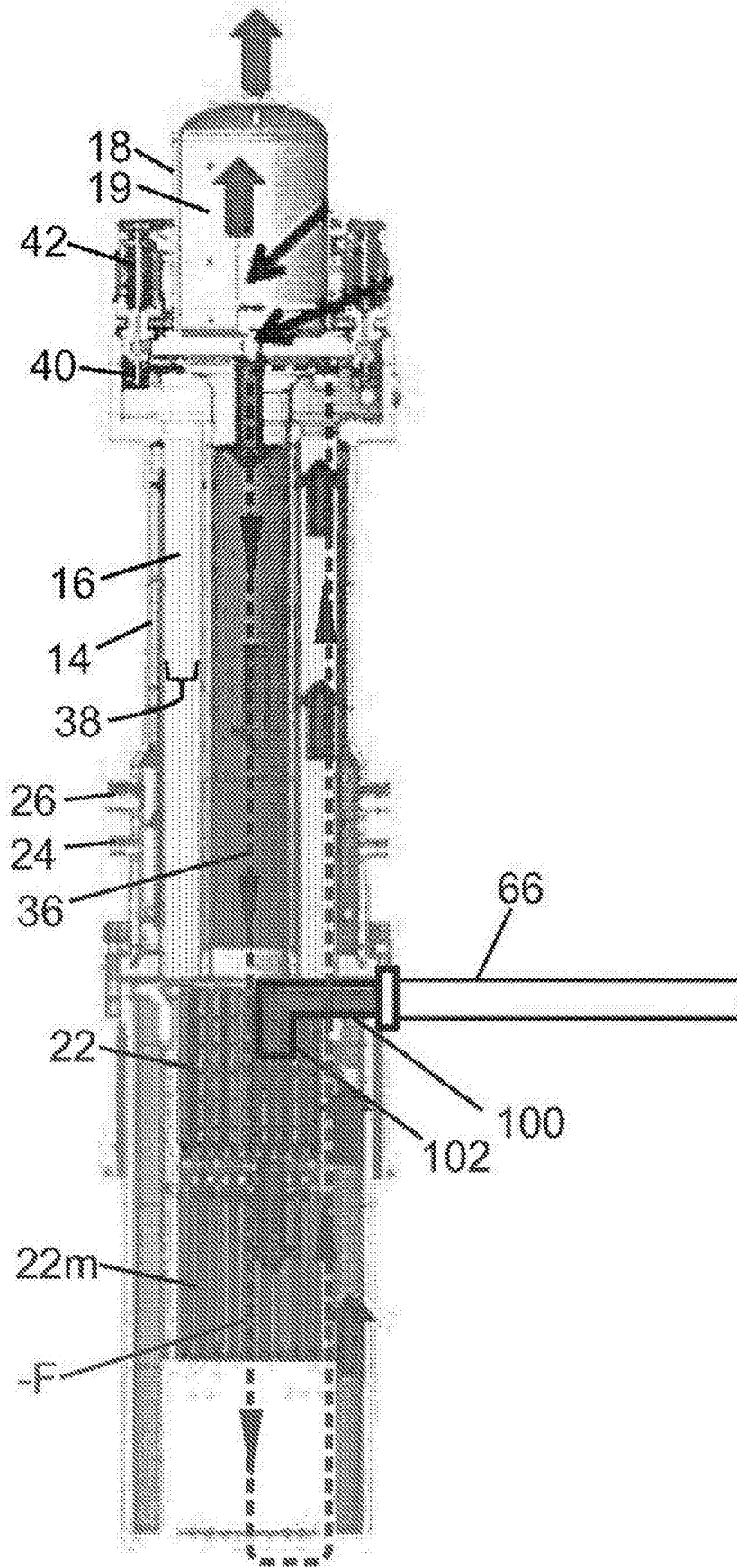


图 3

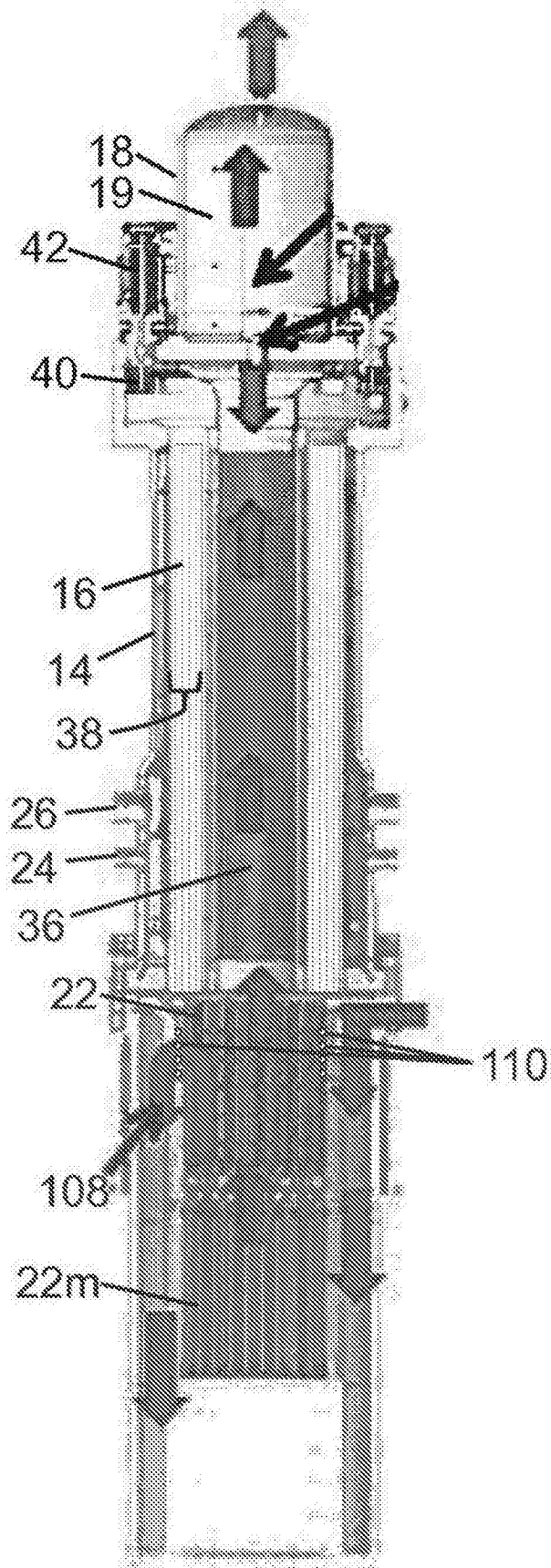


图 4