



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108711457 B

(45) 授权公告日 2022.03.18

(21) 申请号 201810345796.2

G21C 9/00 (2006.01)

(22) 申请日 2014.10.30

G21C 9/04 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G21C 13/024 (2006.01)

申请公布号 CN 108711457 A

G21C 13/032 (2006.01)

G21C 13/04 (2006.01)

(43) 申请公布日 2018.10.26

G21D 1/00 (2006.01)

(30) 优先权数据

G21D 3/04 (2006.01)

61/922,541 2013.12.31 US

G21C 1/32 (2006.01)

(62) 分案原申请数据

201480066111.0 2014.10.30

(56) 对比文件

US 2015357054 A1, 2015.12.10

US 4115194 A, 1978.09.19

(73) 专利权人 纽斯高动力有限责任公司

CN 102272858 A, 2011.12.07

地址 美国俄勒冈

CN 1836292 A, 2006.09.20

(72) 发明人 T·利兹凯 S·卡德尔

CN 103069499 A, 2013.04.24

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所

CN 102272858 A, 2011.12.07

有限公司 11038

CN 103377735 A, 2013.10.30

代理人 曾祥生

审查员 吴少波

(51) Int. Cl.

G21C 5/10 (2006.01)

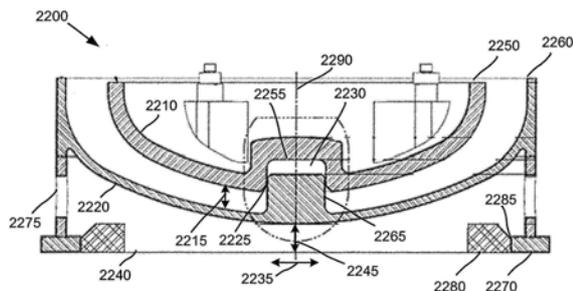
权利要求书2页 说明书22页 附图20页

(54) 发明名称

用于核反应堆的地震衰减系统

(57) 摘要

本发明涉及一种用于使地震力衰减的系统，其包括包含有核燃料的反应堆压力容器(2250)和容纳反应堆压力容器(2250)的安全壳(2260)。反应堆压力容器(2250)和安全壳(2260)二者可以包括底封头(2210,2220)。另外，该系统可以包括基底支撑件(2270)，其构造成接触在上面沿着基本竖直取向定位安全壳(2260)的支撑面(2240)。可以在反应堆压力容器(2250)的底封头(2210)和安全壳(2260)的底封头(2220)之间布置有衰减装置(2255、2265)。从基底支撑件(2240)经由安全壳(2260)传递到反应堆压力容器(2250)的地震力可以通过衰减装置(2255、2265)沿着与安全壳(2260)的竖直取向基本成侧向的方向衰减。



1. 一种用于在核反应堆组件中使地震力衰减的系统,所述系统包括:
反应堆压力容器,所述反应堆压力容器容纳核反应堆芯;
安全壳,所述安全壳封装所述反应堆压力容器并且包括悬置在支撑面上方的底封头;
和
衰减装置,所述衰减装置一体地联接到所述反应堆压力容器并且沿着所述反应堆压力容器的纵向中心线定位;
其中所述衰减装置包括一体的竖向键部分和凹陷部,所述一体的竖向键部分从所述反应堆压力容器的外表面沿着大致竖向方向向下延伸,所述凹陷部形成在所述安全壳的底封头中,以接纳所述一体的竖向键部分并且为所述反应堆压力容器提供横向支撑。
2. 根据权利要求1所述的系统,其还包括圆柱形支撑裙部;所述支撑裙部接触所述支撑面并且使所述安全壳的底封头悬置在所述支撑面上方。
3. 根据权利要求1所述的系统,其中所述凹陷部包括相对于所述一体的竖向键部分的底端部的垂直间隙以考虑到所述反应堆压力容器沿着所述纵向中心线的热膨胀。
4. 根据权利要求3所述的系统,
其中所述一体的竖向键部分包括直径;并且
其中所述凹陷部还包括环状间隙以考虑到所述一体的竖向键部分的直径的热膨胀。
5. 根据权利要求1所述的系统,其还包括支撑结构,所述支撑结构位于所述安全壳的上半部分中,构造成将所述反应堆压力容器支撑在所述安全壳内。
6. 根据权利要求5所述的系统,
其中反应堆压力容器的重量的大部分由所述支撑结构支撑;并且
其中所述反应堆压力容器的重量基本都不由所述衰减装置支撑。
7. 根据权利要求1所述的系统,
其中所述一体的竖向键部分包括竖直柱,所述竖直柱沿着所述反应堆压力容器的纵向中心线定位;并且
其中所述竖直柱插入在所述安全壳的底封头中形成的凹陷部中。
8. 根据权利要求1所述的系统,其还包括抽吸管线,所述抽吸管线从所述凹陷部延伸到所述安全壳的底封头的外表面。
9. 根据权利要求1所述的系统,其还包括:
凸耳,所述凸耳从所述安全壳延伸,所述凸耳将所述安全壳安装到反应堆舱的预埋件;
和
隔震组件,所述隔震组件在所述凸耳和所述预埋件的壁之间安装在所述预埋件中,所述隔震组件中的每个都包括:
限定容积的封壳;
能塑性变形的构件,其至少部分地安装在所述容积内;和
拉伸构件,所述拉伸构件能在所述封壳内运动以使所述能塑性变形的构件响应于施加在所述反应堆舱上的动态力而塑性变形。
10. 一种用于在核反应堆组件中使地震力衰减的系统,所述系统包括:
反应堆压力容器,所述反应堆压力容器容纳核反应堆芯;
安全壳,所述安全壳封装所述反应堆压力容器并且包括悬置在支撑面上方的底封头;

和

衰减装置,所述衰减装置沿着所述反应堆压力容器的纵向中心线定位在所述反应堆压力容器和所述安全壳之间,所述衰减装置构造成衰减经由所述安全壳从支撑面传递到所述反应堆压力容器的地震力。

11. 根据权利要求10所述的系统,其中所述衰减装置包括:

一体的竖向键部分,所述一体的竖向键部分从所述反应堆压力容器的外表面沿着大致竖向方向向下延伸;和

凹陷部,所述凹陷部形成在所述安全壳的底封头中,以接纳所述一体的竖向键部分。

12. 根据权利要求10所述的系统,其还包括:

凸耳,所述凸耳附接到所述安全壳,所述凸耳定位在位于反应堆舱中的预埋件中;和
隔震组件,所述隔震组件在所述凸耳和所述预埋件的壁之间安装在所述预埋件中,所述隔震组件中的每个都包括:

限定容积的封壳;

能塑性变形的构件,其至少部分地安装在所述容积内;和

拉伸构件,所述拉伸构件能在所述封壳内运动以使所述能塑性变形的构件响应于施加在所述反应堆舱上的地震力而塑性变形。

13. 根据权利要求12所述的系统,其中所述能塑性变形的构件包括第一部分和第二部分,所述第一部分安装在所述封壳内,所述第二部分通过冲模构件延伸到所述预埋件中的一个的壁。

14. 根据权利要求13所述的系统,其中所述第二部分被锚固到所述壁。

15. 根据权利要求13所述的系统,其中所述冲模构件能响应于施加在所述反应堆舱上的地震力而与所述拉伸构件一起运动。

16. 根据权利要求12所述的系统,其中所述拉伸构件被安装在延伸通过所述能塑性变形的构件的膛孔的一部分内。

17. 根据权利要求16所述的系统,其中所述膛孔的所述部分包括与所述拉伸构件的外部尺寸大约相等的第一直径,所述膛孔包括具有比所述第一直径小的第二直径的另一个部分。

18. 根据权利要求17所述的系统,其中基于所述拉伸构件响应于施加在所述反应堆舱上的地震力而通过所述膛孔的运动,所述第二直径被拉伸到近似等于所述第一直径。

19. 根据权利要求16所述的系统,其中所述膛孔至少部分地封装工作流体,基于所述拉伸构件响应于施加在所述反应堆舱上的地震力而通过所述膛孔的运动,所述工作流体使由所述施加在所述封壳上的地震力产生的能量的至少一部分消散。

20. 根据权利要求19所述的系统,其还包括流体通路,所述流体通路将所述膛孔流体地联接到由所述反应堆舱限定的容积。

21. 根据权利要求20所述的系统,其中所述工作流体包括封装在所述容积中的流体的一部分。

用于核反应堆的地震衰减系统

[0001] 本申请是国际申请号为PCT/US2014/063127、国家申请号为201480066111.0、申请日为2014年10月30日、名称为“用于核反应堆的地震衰减系统”的中国专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉参考

[0003] 本申请要求享有2014年10月30日提交的题名为“SEISMIC ATTENUATION SYSTEM FOR A NUCLEAR REACTOR”的美国专利申请号14/528,123的优先权,该美国专利申请继而要求享有2013年12月31日提交的题名为“MANAGING DYNAMIC FORCES ON A NUCLEAR REACTOR SYSTEM”的美国临时申请号61/922,541,它们的整个内容通过参考包含于此。

技术领域

[0004] 本公开通常涉及用于使核反应堆系统或其它结构上的动态力和/或地震力衰减的系统、装置和方法。

背景技术

[0005] 隔震可以用于控制或减小部件或结构对竖直和水平地面输入运动或加速度的响应。隔震可以通过将部件/结构的运动与下部结构的驱动运动解耦而实现该目的。在某些示例中,硬件(例如,弹簧)可以被定位在下部结构和上部结构之间。这种硬件的使用可以通过增大用于部件或结构的自振周期而将结构的动态响应最小化,促使结构内加速度和力降低。为了进一步减小光谱响应振幅(例如,偏转、力等),可以采用其它有效地将峰值振幅减小到可管理的水平的机制。

[0006] 在发电设施中在核反应堆和二次冷却系统或其它系统之间可以设置管道系统和其它连接部。就地震及其它地震活动而言,显著的力或振动可以传递到连接部或通过连接部传递,所述显著的力或振动可以将较大的应力施加在连接部上。由热膨胀引起的力也将应力施加在连接部上。对这些连接部的整体性的维护帮助阻止无意间从各系统释放放射性材料或其它材料,并且减少如果连接部中的一个或多个失效而可能以其它方式进行的维修或出现的损坏。

[0007] 在地震事件期间,动态力和/或地震力可以从地面、支撑面或周围的安全壳厂房传递到反应堆模块。传递到反应堆模块的地震力会依据介入结构和/或系统的数量和/或长度经历振幅和/或频率的累积增长和/或放大,所述介入结构和/或系统供地震力行进而使其到达反应堆模块中。如果地震力变得足够大,则反应堆芯和/或燃料元件会被损坏。

[0008] 本发明解决了这些和其它问题。

附图说明

[0009] 图1A至图1B分别提供框图的侧视图和俯视图,所述框图示出包括一个或多个隔震组件的示例核反应堆系统。

[0010] 图2A至图2B示出隔震组件的示例实施方案。

- [0011] 图3A至图3B示出隔震组件的示例实施方案的部分。
- [0012] 图4示出隔震组件的示例实施方案。
- [0013] 图5示出用于隔震组件的示例实施方案的力-偏转图。
- [0014] 图6示出包括支撑结构的示例功率模块组件。
- [0015] 图7示出图6的功率模块组件的侧视图。
- [0016] 图8示出用于包括隔震安全壳的功率模块组件的示例支撑结构的局部视图。
- [0017] 图9示出用于包括多个弹性阻尼装置的隔震安全壳的示例支撑结构的局部视图。
- [0018] 图10示出示例弹性阻尼和保持结构的局部视图。
- [0019] 图11示出响应于纵向力的图10的弹性阻尼和保持结构的局部视图。
- [0020] 图12示出响应于横向力的图10的弹性阻尼和保持结构的局部视图。
- [0021] 图13示出用于隔震功率模块的示例弹性阻尼和保持结构的局部视图。
- [0022] 图14示出用于将功率模块隔震的示例系统。
- [0023] 图15示出示例反应堆压力容器。
- [0024] 图16示出包括安全壳和反应堆压力容器组件的示例反应堆模块的局部剖视图。
- [0025] 图17示出包括反应堆压力容器和安全壳的示例反应堆模块的剖视图。
- [0026] 图18示出包括径向键的示例系统。
- [0027] 图19示出包括径向缓冲器的示例系统。
- [0028] 图20示出连同反应堆压力容器一起的图19的示例系统。
- [0029] 图21示出包括竖向键的示例系统。
- [0030] 图22示出另一个包括竖向键的示例系统。
- [0031] 图23示出包括具有可替代的力传输路径的竖向键的示例系统。
- [0032] 图24示出另一个包括具有可替代的力传输路径的竖向键的示例系统。
- [0033] 图25示出包括成一体的竖向键和横向支撑件的示例系统。
- [0034] 图26示出包括锥形键的示例系统。
- [0035] 图27示出在RPV经受热膨胀的情况下的图26的示例系统的扩大的局部视图。
- [0036] 图28示出处于膨胀状态中的图26的示例系统的扩大的局部视图。
- [0037] 图29示出另一个包括锥形键的示例系统。
- [0038] 图30示出动态力或地震力通过反应堆模块结构传输的示例操作。
- [0039] 图31示出包括阶梯状键的示例系统。
- [0040] 图32示出处于膨胀状态中的图31的示例系统。

具体实施方式

[0041] 图1是示出包括一个或多个隔震组件25的核反应堆系统100(例如,核反应堆)的框图。在某些方面中,核反应堆系统100是商用动力压水反应堆,其利用初次冷却剂的自然循环以冷却核反应堆芯并且将热从堆芯通过一个或多个热交换器传递到二次冷却剂。二次冷却剂(例如,水)一旦被加热(例如,加热成蒸汽、过热蒸汽或其它形式)可以在凝结和返回到一个或多个热交换器之前驱动诸如蒸汽涡轮或其它形式的动力产生装备。

[0042] 相对于核反应堆系统100,反应堆芯20被定位在圆筒状或胶囊状反应堆容器70的底部部分处。反应堆芯20包括一些核燃料组件或棒(例如,可裂变材料,其与控制棒组合地

产生受控制的核反应)和任选地一个或多个控制棒(未示出)。如上所述,在某些实施方案中,核反应堆系统100设计有被动操作系统(例如,没有用于初次冷却剂的循环泵),所述被动操作系统采用物理定律以确保至少在某些预定的时间段上在没有操作员干预或监管的情况下在正常操作期间或甚至在应急条件下维持核反应堆100的安全操作。

[0043] 圆筒状或胶囊状安全壳10包围反应堆容器70并且可以被部分地或完全地浸没在反应堆舱5内的反应堆池中,例如,在吃水线90(其可以在舱5的顶面35处或略低于舱5的顶面35)以下。在反应堆容器70和安全壳10之间的容积可以被部分地或完全地抽空以减小从反应堆容器70到反应堆池的传热。然而,在其它实施方案中,在反应堆容器70和安全壳10之间的容积可以至少部分地用增大反应堆和安全壳之间的传热的气体和/或液体填充。

[0044] 在所示的实施方案中,反应堆芯20被浸没在诸如水的液体中,所述液体可以包括硼或其它添加剂,所述液体在与反应堆芯的表面接触之后上升到通道30中。已加热的冷却剂的向上运动由在通道30(例如,立管30)内的箭头40(例如,初次冷却剂40)表示。冷却剂行进越过热交换器50和60的顶部并且通过沿着反应堆容器70的内壁的密度差被向下拖曳,从而允许冷却剂将热传给热交换器50和60。在冷却剂到达反应堆容器70的底部部分之后,冷却剂与反应堆芯20接触而促使冷却剂加热,所述加热的冷却剂再次通过通道30上升。虽然热交换器50和60在图1中被示出为两个不同的元件,但是热交换器50和60可以表示卷绕在通道30的至少部分上的、任何数量的螺旋形的(或其它形状的)线圈。

[0045] 核反应堆模块的正常操作以如下方式继续进行,即,在所述方式中,加热的冷却剂通过通道30上升并且与热交换器50和60接触。在冷却剂接触热交换器50和60之后,冷却剂朝向反应堆容器70的底部下沉,使得反应堆容器70内的冷却剂保持在高于大气压力的压力处,从而允许冷却剂在不蒸发(例如,沸腾)的情况下维持高温。

[0046] 随着在热交换器50和60内的冷却剂的温度增大,冷却剂会开始沸腾。随着在热交换器50和60内的冷却剂开始沸腾,蒸发的冷却剂例如蒸汽可以用于驱动一个或多个涡轮,所述一个或多个涡轮将蒸汽的热势能转化成电能。在凝结之后,冷却剂返回到在热交换器50和60的基底附近的位置。

[0047] 在所示的实施方案中,在反射物15和反应堆容器70之间的下降管区域提供流体路径,其用于使初次冷却剂40在立管30和反应堆容器70之间的环形部中从容器70的顶端(例如,在经过热交换器50、60之后)到容器70的底端(例如,在堆芯20下方)流动。流体路径将尚未通过堆芯20再循环的初次冷却剂40引导成与反射物15的至少一个表面对流接触,以便冷却反射物15。

[0048] 如图所示,安全壳10可以通过一个或多个隔震组件25联接到反应堆舱10。如图1B中所示,每个隔震组件25都可以安装在预埋件29中或上,所述预埋件29从反应堆舱5的内表面27延伸。虽然图1B中示出四个隔震组件25(在舱5的内表面27的每个壁上有一个隔震组件25),但是可以根据需要有更多的或更少的隔震组件25来支撑安全壳10。在该实施方案中,安全壳10包括支撑凸耳33,所述支撑凸耳33与隔震组件25相邻地搁置在预埋件29上。

[0049] 在某些实施方案中,隔震组件25、预埋件29和支撑凸耳33可以被定位在通过安全壳10的轴线处或附近,所述轴线与容器10的近似中心(CG)相交或略高于容器10的CG。安全壳10(及其中的部件)可以由隔震组件25、预埋件29和支撑凸耳33与作用在安全壳10上的液体池90的浮力组合地支撑。

[0050] 通常,所示的隔震组件25(在图2A至图2B和图3A至图3B中更详细地示出)可以包括响应于在安全壳10上产生力的地震事件(或其它引起运动的事件)而经历塑性变形的一个或多个部件。例如,就地震事件而言,地震能可以通过穿透和收缩组件25的一个或多个部分(例如,一系列具有锥形的或由凸面限界的其它形状的元素)以使组件25的一个或多个部分塑性变形而通过组件25的一个或多个部分消散。能量可以通过组件25的运动元件之间的塑性变形和摩擦而被吸收。

[0051] 在某些实施方案中,组件25的硬度可以通过设定可塑性变形的元件的尺寸而被控制。例如,多个锥体、冲模和圆柱体(作为可塑性变形的元件)可以布置在封壳中,如在图3A至图3B中更详细地示出。组件25的封壳可以相对于支撑凸耳29(或其它反应堆舱预埋件)运动。就诸如地震的地震事件而言,隔震组件25可以有助于核反应堆系统100的安全停止,而同时维持可冷却的几何结构。在某些实施方案中,隔震组件25可以尺寸设定成用于在与操作基准地震(OBE)相关联的力以上的滑动力。OBE可以典型地是与安全停止地震(SSE)相关联的力的三分之一至二分之一。SSE事件被归类为事故工况、服务水平D。OBE事件被归类为失常工况、服务水平B。

[0052] 当反应堆系统100经受在OBE的强度以下的地震时,操作可以在地震事件之后不久在没有任何重大修理或检查的情况下恢复。结果,在OBE期间,隔震组件25可以不经受任何塑性变形。例如,如果隔震组件25可以在OBE期间保持为线性的(例如,不经历塑性变形或经历微不足道的塑性变形),则隔离组件25的更换会是不必要的。当反应堆系统100经受SSE时,隔离组件25可以被塑性地锻炼并且可以被去除和/或被替换。然而,隔震组件25的更换可以比其它部件的更换(例如,反应堆系统100的更换)花费明显更少。

[0053] 图2A至图2B示出隔震组件200的示例实施方案。在某些方面中,隔震组件200可以用作图1A至图1B中所示的隔震组件25。图2A示出安装在预埋件29中的若干隔震组件200的等距视图,而图2B示出安装在预埋件29中的隔震组件200的俯视图,其暴露了若干内部部件以用于细节。

[0054] 如图2A中所示,若干(例如,三个)隔震组件200可以抵靠预埋件29的竖直面安装,由此限定袋状物(例如,用于接收安全壳10的支撑凸耳)。每个隔震组件200都可以贴附到竖直面中的一个或可以被简单地与竖直面接触地搁置在预埋件29中。在该示例实施方案中,隔震组件200的封壳205包括长方体部分,其具有锥形的或倾斜的顶部部分。然而,本公开预料到其它形状。在某些方面中,一个或多个可塑性变形的元件可以被至少部分地安装和/或容纳在长方体部分201内。

[0055] 图2B示出每个隔震组件200的一个或多个内部部件。如图所示,每个隔震组件200都可以包括锥形拉伸元件210、收缩模215和圆柱形塑性元件220。在某些方面中,如图2B中所示,可以有若干(例如,介于两个和五个)组的锥形拉伸元件210、收缩模215和圆柱形塑性元件220。本公开也预料到其它数量的组,并且它们可以至少部分地取决于特定的隔震组件200的尺寸(例如,图2A中所示的沿着x方向或z方向的尺寸)。

[0056] 在所示的实施方案中,圆柱形塑性元件220的部分可以从封壳205延伸并且(例如,例如通过焊接刚性地或半刚性地)附装到预埋件29(并且引申开来附装到反应堆舱5)。因而,在某些方面中,通过反应堆舱5传递的动态力(例如,地震力)可以由隔震组件200通过圆柱形塑性元件220承受。

[0057] 在某些方面中,每个隔震组件200的总硬度都可以至少部分地基于锥形拉伸元件210、收缩模215和圆柱形塑性元件220的组的数量以及在封壳205内的锥形拉伸元件210、收缩模215和圆柱形塑性元件220中的一个或多个的相对尺寸。例如,简要地参照图4,示出隔震组件200的示例实施方案的示例理想化表示400。

[0058] 如图4中所示,弹簧滑动器和阻尼器被平行地定位。表示400包括“I”节点和“J”节点,所述“I”节点表示反应堆建筑壁预埋件(例如,预埋件29),所述“J”节点表示隔震组件200的封壳205。塑性元件(例如,锥形拉伸元件210、收缩模215和圆柱形塑性元件220)的硬度由K1表示(示出为电阻元件)。

[0059] 在某些方面中,如图4中所示,也可以考虑到其它“电阻”元件。例如,液压阻尼特征部由阻尼系数C表示。额外的硬度元件(例如,弹簧、碟型垫圈或其它形式)也可以在核反应堆系统100中使用(例如,它们被安装在封壳205内或安装在封壳205和预埋件29之间)以使地震力(例如,与隔震组件200平行)消散并且通常由K2表示。

[0060] 也示出了空隙,其表示在隔震组件200和预埋件29之间(例如,在节点J和节点I之间)的空间(例如,用气体或流体填充)。如图所示,FSLIDE值表示弹簧力的绝对值,其必须超过在发生滑动之前的弹簧力的绝对值。该滑动力可以由(例如,锥形拉伸元件210、收缩模215和圆柱形塑性元件220中的一个或多个的)塑性变形和摩擦力所导致。

[0061] 在某些方面中,K1可以被选择并且在某些情况下K1与K2和/或C平行地选择以实现特定的FSLIDE。特定的FSLIDE可以足够大,以便使来自事件(例如,OBE或SSE事件或其它事件)的、作用在节点I处的地震力不超过FSLIDE,并且因此通过在K1(以及在某些示例中分别K2的弹簧和C的阻尼)中出现的弹性变形被完全地或大部分地承受。

[0062] 简要地参照图5,力偏转图500示出在隔震组件200上的地震力和偏转之间的关系(没有K2和C的影响)。如图所示,在FSLIDE力以下,系统是线性的(假定在隔震组件200和预埋件29之间没有空隙)。当出现滑动时,吸收的能量是与滑动力乘以滑动距离成比例。

[0063] 在该视图中,K1和K2弹簧被示出为线性(比例)弹簧,但是可以推广到任何类型的非线性(无弹性的、非比例)弹簧。例如,在其它表示中,弹簧-阻尼器-滑动器元件的数量可以是任何数量和组合。

[0064] 返回图2A,示出的隔震组件200通过圆柱形塑性元件220附装到预埋件29。如图所示,可以有多组竖直地布置在封壳205内的锥形拉伸元件210、收缩模215和圆柱形塑性元件220。在预埋件29和圆柱形塑性元件220之间的接触可以驱动封壳205相对于舱5(并且从而相对于容纳且接触舱5的任何结构)的相对运动。

[0065] 在每个封壳205内的塑性机构的数量(例如,多组锥形拉伸元件210、收缩模215和圆柱形塑性元件220)可以是在地震事件期间实现结构(例如,舱5或其它结构)的适当阻尼所需的消散的能量的函数。封壳205的尺寸可以由核反应堆系统100相对于结构的可允许相对位移(例如,约4英寸作为最大可允许位移)确定。每个隔离组件200的尺寸都可以是相当紧凑的。

[0066] 在某些方面中,锥形拉伸元件210和圆柱形塑性元件220可以一起工作以使如图2A中所示的沿着X和Z方向的力消散。例如,锥形拉伸元件210可以通过使圆柱形塑性元件220响应于沿着X和Z方向的力塑性变形(例如,通过朝向预埋件29运动到元件210中)而使能量消散。在某些方面中,收缩模215可以随锥形拉伸元件210的运动一起运动。在其它方面

中,收缩模215可以简单地是封壳205中的膛孔而不是单独的部件,圆柱形塑性元件220通过所述膛孔延伸以接触预埋件29。

[0067] 基于足够大的地震力,锥形拉伸元件210运动到圆柱形塑性元件220(例如,如图3A中所示,运动到膛孔230中)而可以促使圆柱形塑性元件220半永久或永久塑性变形。另外,在圆柱形塑性元件220的塑性变形期间(和之后),地震力也可以通过锥形拉伸元件210和圆柱形塑性元件220之间的摩擦和相关的热而消散。

[0068] 图3A至图3B示出隔震组件200的示例实施方案的部分。图3A示出安装在封壳205中的可塑性变形的元件的特写视图。如在图3A中进一步示出,封壳205和可塑性变形的元件的部分可以由液体(例如,水或其它流体)池90包围。如上所述,液体90可以是液压阻尼特征部(例如,在图4中,由阻尼系数C表示),其帮助使地震力消散以及使随着可塑性变形的元件响应于地震力滑动/变形而由可塑性变形的元件的摩擦力所产生的热消散。

[0069] 在某些方面中,圆柱形塑性元件220的膛孔230可以封装工作流体(例如,诸如空气的气体或诸如水的液体)。工作流体可以由隔震组件200接收的任何地震力提供进一步消散的影响。例如,随着锥形拉伸元件210被压入圆柱形塑性元件220的膛孔230中,通过锥形拉伸元件210在膛孔230内压缩,工作流体可以使地震事件的能量中的某些消散。

[0070] 参照图3B,示出另一个实施方案,其包括流体孔口225,所述流体孔口225流体连接膛孔230和反应堆池90。在该方面中,工作流体可以是池90的部分。在图3A至图3B中所示的两个实施方案中,工作流体可以提供进一步液压阻尼以使地震力和由于这种力而引起的运动消散。例如,在锥形拉伸元件210运动到圆柱形塑性元件220的膛孔230中期间从膛孔230驱逐出的工作流体也可以使地震能通过液压阻尼消散。

[0071] 已经说明了与图1至图5有关的多个实施方案。虽然如此,将应理解,可以做出各种修改。例如,公开的技术的步骤可以按照不同的顺序执行,在公开的系统中的部件可以以不同的方式组合,并且/或者部件可以由其它部件替换或增补。因此,其它实施方案处于以下示例的范围内。

[0072] 核反应堆隔震组件可以包括一个或多个可变形的元件,其响应于由地震事件所产生的且通过容纳核反应堆安全壳的结构传递到组件的能量而塑性变形以使地震能至少部分地消散。在某些方面中,所述能量的部分通过塑性变形而消散,而同时所述能量的其它部分通过组件的两个或更多个部件之间的摩擦而消散。在又一些其它方面中,工作流体可以在组件内被压缩以使地震能中的某些消散。

[0073] 核反应堆系统可以包括根据本公开的一个或多个隔震组件,所述一个或多个隔震组件可以将结构(例如,安全池结构或建筑结构)上的反作用力(或力)限制到滑动力。公开的隔震组件可以在地理上是中性的并且从而在世界各地在核反应堆系统中使用。作为另一个示例,隔震组件可以是被动隔离器而不是主动隔离器,由此降低维修和检查复杂性(例如,通过限制到目视检查或其它形式)。作为又一个示例,公开的隔震组件可以适应或促进用于核反应堆系统结构的模块化建筑设计。

[0074] 核反应堆隔震组件可以包括限定容积的封壳和至少部分地安装在该容积内的可塑性变形的构件。拉伸构件可以是可在封壳内可运动的,以使可塑性变形的构件响应于施加在封壳上的动态力塑性变形。封壳可以是可附装到核反应堆安全壳的部分的。动态力可以包括地震产生的力。

[0075] 在某些示例中,可塑性变形的构件可以包括安装在封壳内的第一部分和通过冲模构件延伸到封壳的外部的第二部分。第二部分可以包括可焊接的部分。另外,冲模构件可以是可响应于施加在封壳上动态力而与拉伸构件一起运动的。

[0076] 拉伸构件可以被安装在通过可塑性变形的构件延伸的膛孔的部分内。膛孔的所述部分可以包括与拉伸构件的外部尺寸大约相等的第一直径,膛孔包括具有比第一直径小的第二直径的另一部分。另外,基于拉伸元件响应于施加在封壳上的动态力而通过膛孔的运动,第二直径可以被拉伸成近似等于第一直径。

[0077] 在某些示例中,膛孔可以至少部分地封装工作流体,基于拉伸元件响应于施加在封壳上的动态力而通过膛孔的运动,所述工作流体使由施加在封壳上的动态力产生的能量的至少部分消散。工作流体可以包括封装在核反应堆舱中的流体的部分。

[0078] 一种用于管理动态力和/或用于使地震力衰减的方法可以包括在与核反应堆压力容器接触的隔震组件上接收力,其中,所述力可以至少部分地通过地震事件产生。接收到的力可以通过隔震组件的封壳传递到拉伸构件,并且拉伸构件可以基于接收到的力而在封壳内运动。

[0079] 该方法还可以包括:使至少部分地封装在封壳中的可变形的构件随同拉伸构件一起塑性变形,并且基于使可变形的构件塑性变形而使接收到的力的至少部分消散。

[0080] 另外,该方法可以包括:基于拉伸构件基于接收到的力重复运动到可变形的构件中,在可变形的构件和拉伸构件之间产生摩擦,并且基于产生的摩擦,使接收到的力的另一个部分消散。

[0081] 在某些示例中,基于拉伸构件基于接收到的力运动到可变形的构件中,封装在可变形的元件的室中的工作流体可以被压缩,并且接收到的力的另一个部分可以基于工作流体的压缩而消散。工作流体可以通过流体通路被驱逐到封装液体的反应堆舱,所述流体通路将室和反应堆舱流体地联接。另外,接收到的力的另一个部分可以通过封装在反应堆舱中的液体而消散。

[0082] 基于拉伸构件基于接收到的力运动到可变形的构件中,一个或多个弹簧构件可以被压缩,并且接收到的力的另一个部分可以基于一个或多个弹簧构件的压缩而消散。在某些示例中,接收到的力可以通过与容纳核反应堆压力容器的结构接触的可变形的构件传递。

[0083] 核反应堆系统可以包括反应堆舱和核反应堆安全壳,所述反应堆舱封装液体,所述核反应堆安全壳在凸耳定位在反应堆舱的预埋件中的情况下安装在反应堆舱内。另外,该系统可以包括隔震组件,所述隔震组件在凸耳和预埋件的壁之间安装在预埋件中。隔震组件中的每个都可以包括限定容积的封壳、至少部分地安装在该容积内的可塑性变形的构件和拉伸构件,所述拉伸构件可在封壳内运动以使可塑性变形的构件响应于施加在反应堆舱上的动态力而塑性变形。

[0084] 可塑性变形的构件可以包括安装在封壳内的第一部分和通过冲模构件延伸到预埋件中的一个的壁的第二部分。第二部分可以被锚固到该壁。在某些示例中,冲模构件可以是可响应于施加在反应堆舱上的动态力随拉伸构件一起运动的。

[0085] 另外,拉伸构件可以安装在通过可塑性变形的构件延伸的膛孔的部分内。所述膛孔的部分可以包括与拉伸构件的外部尺寸大约相等的第一直径和具有小于第一直径的第

二直径的另一个部分。在某些示例中,基于拉伸元件响应于施加在反应堆舱上的动态力通过膛孔运动,第二直径可以被拉伸成近似等于第一直径。

[0086] 膛孔可以至少部分地封装工作流体,基于拉伸元件响应于施加在反应堆舱上的动态力通过膛孔运动,所述工作流体使由施加在封壳上的动态力产生的能量的至少部分消散。核反应堆系统还可以包括通路,所述通路将膛孔流体地联接到由反应堆舱所限定的容积。工作流体可以包括封装在该容积中的流体的部分。

[0087] 图6示出包括安全壳624、反应堆容器622和支撑结构620的示例功率模块组件。安全壳624可以具有圆筒形的形状并且可以具有椭圆体的、圆顶状的或半球形的上端部626和下端部628。整个功率模块组件625可以被浸没在液体636(例如,水)池中,所述液体636池用作有效的散热器。在其它示例中,功率模块组件625可以被部分地浸没在液体636池中。液体636池被保持在反应堆舱627中。反应堆舱627可以由钢筋混凝土或其它常规材料构成。液体636池和安全壳624还可以位于地面609的下方。在某些示例中,安全壳624的上端部626可以完全地位于液体636池的液面的下方。安全壳624可以被焊接或以其它方式密封到环境,以便使液体和气体不从功率模块组件625泄漏或不进入功率模块组件625。

[0088] 安全壳624被示出为在反应堆舱627的下表面的上方通过一个或多个支撑结构620被悬浮在液体636池中。安全壳624可以由不锈钢或碳钢制成并且可以包括包层。功率模块组件625可以尺寸设定成使得它可以在有轨车上运输。例如,安全壳624可以构造成具有大约4.3米的直径和17.7米的高度(长度)。反应堆芯的再加燃料可以通过例如由有轨车或海运运输整个功率模块组件625并且用新的或翻新的功率模块组件替换该功率模块组件来执行,所述新的或翻新的功率模块组件具有新鲜供给的燃料棒。

[0089] 安全壳624形成胶囊并且在某些条件下冷却反应堆芯。安全壳624是较小的,具有较高的强度并且部分地由于其较小的总体积而会能够经受住传统安全壳设计的压力的六倍或七倍。假设功率模块组件625的初次冷却系统遭破坏,则没有裂变产物释放到环境中。

[0090] 功率模块组件625和安全壳624示出为被完全地浸没在液体636池中。安全壳624的全部侧面包括顶部和底部在内示出为与液体636接触并且由液体636包围。然而,在某些示例中,仅安全壳624的部分可以被浸没在液体636池中。一个或多个支撑结构620位于安全壳624的近似中点处。在某些示例中,一个或多个支撑结构620位于功率模块625的近似重心(CG)处或略高于功率模块625的CG处。功率模块625由支撑结构620与作用在安全壳624上的液体636池的浮力组合地支撑。在某些示例中,功率模块组件625由两个支撑结构620支撑。第一支撑结构可以位于功率模块组件625的与第二支撑结构相对的侧上。

[0091] 一个或多个支撑结构620可以构造成支撑安全壳624和反应堆容器622二者。在附图中,一个或多个支撑结构620位于反应堆容器622的近似CG处或略高于反应堆容器622的CG处。

[0092] 图7示出图6的功率模块组件625的侧视图。安全壳624以及反应堆容器622可以构造成由于作用在功率模块625上的转动力 R_F 而围绕支撑结构620枢转。在某些示例中,支撑结构620位于略高于功率模块625的CG处,以便使下端部628趋向于在转动力 R_F 已经消退之后由于重力而返回到面对反应堆舱627内的位置的底部。安全壳624的转动也允许用于在安装功率模块组件625或从反应堆舱627去除功率模块组件625期间有更大的可操纵性。在某些示例中,安全壳624可以在功率模块组件625的竖直和水平取向或位置之间转动。

[0093] 功率模块625进一步示出为包括基底支撑件,例如,位于安全壳624的下端部628处的基底裙部730。基底裙部730可以被刚性地安装到安全壳624、被焊接在安全壳624上和/或形成安全壳624的成一体的部分。在某些示例中,基底裙部730可以设计成在基底裙部730例如放置在地面上、放置在运输装置上或放置在加油站中的情况下支撑功率模块625的重量。在功率模块625的正常操作(例如,动力操作)期间,基底裙部730可以被悬挂在地面上或定位在反应堆舱627的底部的上方,以便使基底裙部730不与任何外部部件或表面接触。

[0094] 当功率模块625围绕支撑结构620转动时,安全壳625的下端部628趋向于沿着侧向或横向方向Lo运动。基底裙部730可以构造成当安全壳624围绕支撑结构620枢转预定的量时接触位于液体636池中的对准装置735。例如,对准装置735可以尺寸设计成使得功率模块625在运动范围或特定的转动角度内自由转动。

[0095] 对准装置735可以包括比基底裙部730的内径小的外径。对准装置735可以尺寸设定成配合在基底裙部730内,以便当功率模块625休止时基底裙部730不接触对准装置735。在某些示例中,基底裙部730可以构造成当安全壳624围绕支撑结构620枢转时接触对准装置735。在竖直力作用在功率模块625上的情况下,基底裙部730可以不抑制安全壳623的竖直运动范围。对准装置735可以被刚性地安装(例如,枢转、焊接或以其它方式附装)到反应堆舱627的底部。在某些示例中,在基底裙部730和对准装置735之间布置有一个或多个阻尼器638以当功率模块625枢转或转动时使在基底裙部730和对准装置735之间的接触力衰减。一个或多个阻尼器738可以被安装到或以其它方式附装到对准装置735(如图所示)或基底裙部730。

[0096] 图8示出用于包括隔震安全壳824的功率模块组件的示例支撑结构840的局部视图。支撑结构840包括支撑臂845和安装结构847。支撑臂845可以位于安全壳824的近似中点处。安装结构847可以被浸没在液体(例如,水)中。另外,安装结构847可以是反应堆舱627的壁(图6)的外部、安装到反应堆舱627的壁、凹入反应堆舱627的壁中或与反应堆舱627的壁成一体。

[0097] 可以在支撑臂845和安装结构847之间布置有阻尼装置846。安全壳824的重量的至少部分可以通过阻尼装置846转移到支撑结构847。阻尼装置846可以是弹性的、有弹力的或可变形的,并且可以包括弹簧、气动或液压减震器或其它本技术领域已知的振动或力衰减装置。在某些示例中,阻尼装置846包括天然橡胶或合成橡胶。阻尼装置846可以包括弹性材料,所述弹性材料由石油或其它化合物制造并且当暴露于辐射或湿度时是抗材料击穿的。在又一个示例中,阻尼装置846包括可变形的软金属或波纹金属。

[0098] 阻尼装置846可以构造成使在支撑臂845和安装结构847之间由支撑臂845和安装结构847传递的动态力或地震力衰减。例如,沿着安全壳824的纵向或纵长方向起作用的竖直或纵向力FV可以通过阻尼装置846起作用。另外,水平或横向力FH可以沿着与纵向力FV垂直的任何方向施加在阻尼装置846上。横向力FH可以理解为包括位于由说明性坐标系统848的X坐标和Z坐标限定的平面内的方向矢量,而纵向力FV可以理解为包括沿着Y坐标取向的方向矢量,Y坐标与说明性坐标系统848的X-Z平面垂直。

[0099] 在某些示例中,通过将支撑臂845放置在安全壳824的近似重心处,作用在功率模块625上的横向力FH趋向于促使安全壳824滑动而不是转动。将支撑臂845在特定的高度或位置处放置在安全壳824上为当安全壳824经受一个或多个力FH、FV或RF时安全壳824将如

何表现提供了可控制性。

[0100] 阻尼装置846可以沿着竖直方向压缩以吸收纵向力FV或使纵向力FV衰减。在某些示例中,阻尼装置846可以构造成沿着水平方向压缩或折曲以使横向力FH衰减。另外,阻尼装置846可以构造成在诸如地震或爆炸的地震活动期间在X-Z平面内沿着安装结构847滑动。力FV和力FH也可以理解为由包括安全壳824在内的功率模块625的一个或多个部件的热膨胀沿着三个尺寸X、Y、Z的任一个或全部产生。

[0101] 由于阻尼装置846的压缩或运动,较小的力FV和力FH从安装结构847传递到安全壳824或从安全壳824传递到安装结构847。安全壳824经历比另外在支撑臂845被刚性地安装到安装结构847或与安装结构847直接接触的情况下可能传递的冲击更不严重的冲击。安全壳824可以构造成由于作用在功率模块625上的转动力RF(图7)而围绕水平轴线X转动。

[0102] 支撑臂845可以被刚性地附装到安全壳824。一个或多个弹性阻尼装置846可以位于支撑臂845和处于液体636(图6)内的安装结构847二者之间并且与它们接触。弹性阻尼装置846可以在支撑臂845和支撑结构847之间提供枢转点,其中,安全壳24与图7所示类似地围绕弹性阻尼装置846枢转或转动。安全壳824的重量可以部分地由液体636的浮力支撑。周围的液体636(图6)也用于使作用在安全壳824上的转动力RF、横向力FH和纵向力FV中的一个衰减。

[0103] 在某些示例中,支撑臂845包括空心轴829。空心轴829可以构造成提供用于辅或二次冷却系统的贯穿通路。例如,管道系统可以经由空心轴829离开安全壳824。

[0104] 图9示出用于包括支撑臂955和多个弹性阻尼装置952、954在内的隔震安全壳924的支撑结构950的局部视图。第一弹性阻尼装置952可以位于支撑臂955和下安装结构957之间。第二弹性阻尼装置954可以位于支撑臂955和上安装结构958之间。在某些示例中,第一弹性阻尼装置952和第二弹性阻尼装置954被安装到或以其它方式附装到支撑臂955。在其它示例中,第一弹性阻尼装置952和第二弹性阻尼装置954中的一个或二者被分别安装到下安装结构957和上安装结构958。

[0105] 安全壳924的重量的至少部分可以通过第一弹性阻尼装置952转移到下支撑结构957。第一弹性阻尼装置952可以当安全壳924休止时处于压缩下。第一弹性阻尼装置952可以理解为使作用在支撑臂955和下安装结构957之间的纵向力衰减。第二弹性阻尼装置952也可以理解为使作用在支撑臂955和上安装结构958之间的纵向力衰减。安全壳924的纵向或竖直运动随着下安装结构957和上安装结构958分别接触或促使第一弹性阻尼装置952和第二弹性阻尼装置954压缩而可以由下安装结构957和上安装结构958约束。第一弹性阻尼装置952和第二弹性阻尼装置954可以提供与在传统减震器中的缓冲器或缓冲器对类似的功能性。

[0106] 在某些示例中,下安装结构957包括凹陷部956。凹陷部956可以尺寸设计成使得凹陷部956具有比第一弹性阻尼装置952的外部尺寸或外径大的内部尺寸或内径。第一弹性阻尼装置952示出为被密封在凹陷部956中或位于凹陷部956中。凹陷部956可以操作成沿着一个或多个侧向或横向方向约束安全壳924的运动。第一弹性阻尼装置952可以构造成当第一弹性阻尼装置952加压在凹陷部956的壁上时压缩或折曲。在某些示例中,当安全壳924经历侧向或横向力时,凹陷部956可以限制允许第一弹性阻尼装置952在下安装结构957上滑动的量或距离。

[0107] 图10示出用于隔震安全壳1024的弹性阻尼和保持结构1060的局部视图。阻尼和保持结构1060包括可变形的部分1066。可变形的部分1066可以具有圆顶形的、椭圆体的或半球形的形状。安装结构1067可以包括凹陷部1068,并且可变形的部分1066可以被密封在凹陷部1068中或位于凹陷部1068中。可变形的部分1066和凹陷部1068可以理解为起到与球形接头类似的功能,其中,可变形的部分1066在凹陷部1068内转动或枢转。

[0108] 凹陷部1068示出为具有凹入的形状。安装结构1067可以构造成由于在侧向平面中施加横向力FH而约束安全壳1024的运动,所述侧向平面被识别为在说明性坐标系统1048中的X-Z平面。另外,安装结构1067可以构造成由于沿着与X-Z平面垂直的方向Y施加纵向力FV而约束安全壳1024的纵向运动。安全壳1024可以构造成由于作用在功率模块625上的转动力量RF(图7)而围绕水平轴线X转动。在某些示例中,凹陷部1068形成半球形的、圆顶形的或椭圆体的碗。位于安全壳1024的底端处的基底支撑件例如基底裙部630(图6)可以构造成随着可变形的部分1066在凹陷部1068中枢转或转动而约束安全壳1024的转动。

[0109] 安装结构1067可以构造成支撑功率模块的重量中的某些或全部。在某些示例中,液体636的浮力支撑功率模块的重量的基本全部,以便使安装结构1067的凹陷部1068可以主要操作成将功率模块的所需位置对或维持功率模块的所需位置。

[0110] 图11示出响应于纵向力FV的图10的弹性阻尼和保持结构1060的局部视图。安装结构1067中的凹陷部1068可以包括比当安全壳1024休止时的阻尼和保持结构1060的可变形的部分1066的曲率半径R1大的曲率半径R2。由于安全壳1024的竖直运动或由于从安装结构1067传递到安全壳1024的力,纵向力FV可以施加到支撑臂1065(图10)。纵向力可以由例如地震或爆炸导致。

[0111] 当动态纵向力FV施加到支撑臂1065时,阻尼装置可以构造成从由附图标记1066用实线示出的静止状态压缩到由附图标记1066A用虚线示出的动态状态。可变形的部分1066的曲率半径在动态状态1066A中暂时逼近凹陷部1068的曲率半径R2。随着可变形的部分1066的有效半径增大,这促使在可变形的部分1066和凹陷部1068之间形成增大的接触面。随着接触面增大,这用于抵抗或降低可变形的半球形部分1066的额外压缩和使纵向力FV衰减。在某些示例中,可变形的半球形部分1066的有效曲率半径随着纵向力FV增大而增大。当动态纵向力FV已经衰减时,可变形的部分1066可以构造成保留其原始曲率半径R1。

[0112] 图12示出响应于横向力FH的图10的弹性阻尼和保持结构1060的局部视图。凹陷部1068可以构造成沿着至少两个自由度约束可变形的部分1066的运动。例如,可变形的部分1066的运动可以沿着图10的说明性坐标系统1048的X和Z方向被约束。可变形的部分1066可以构造成当可变形的部分1066加压在凹陷部1068的壁上时压缩或折曲。可变形的部分1066的压缩或变形使水平力FH衰减。在某些示例中,当安全壳1024经历横向力FH时,凹陷部1068可以限制允许可变形的部分1066在安装结构1067上滑动的量或距离。当横向力FH施加到支撑臂1065时,阻尼装置从由附图标记1066用实线示出的静止状态运动或滑动到由附图标记1066B用虚线示出的动态状态。

[0113] 虽然凹陷部956、1068在图9和图10中示出为形成在安装结构957、1067中,但是其它示例可以包括在支撑臂955、1065中形成凹陷部956、1068的情况,并且其中,阻尼装置952、1066被安装到安装结构957、1067。这些可替代的示例可以与图9或图10中所示的示例类似地以其它方式操作以约束安全壳924、1024沿着横向方向和纵向方向中的一个或二者

的运动。

[0114] 图13示出用于隔震功率模块1380的弹性阻尼和保持结构1370的局部视图。功率模块1380包括反应堆容器1322和安全壳1324。弹性阻尼和保持结构1370包括一个或多个支撑臂或耳轴和一个或多个安装结构。第一耳轴1375从反应堆容器1322突出或延伸。反应堆容器耳轴1375提供与以上参照图6至图10所述的支撑臂中的一个或多个类似的功能性。第二耳轴1385从安全壳1324突出或延伸。反应堆容器耳轴1375沿着与安全壳耳轴1385相同的单个旋转轴线设置。在说明性坐标系统1348中示出旋转轴线X。反应堆容器1322和安全壳1324中的一个或二者可以当转动RF作用在功率模块1325上时围绕旋转轴线X转动。反应堆容器1322和安全壳1324可以沿着彼此相同的方向或沿着彼此相反的方向转动。

[0115] 反应堆容器耳轴1375示出为被支撑在第一安装结构1377上。安装结构1377从安全壳1324突出或延伸。反应堆容器耳轴1375可以构造成当水平力FH1或FH2作用在功率模块1380上时沿着安装结构1377运动或滑动。第一阻尼元件1376可以构造成使由反应堆容器1322和安全壳1324传递的或在反应堆容器1322和安全壳1324之间传递的水平力FH2的冲击衰减或减小。第一阻尼元件1376也当功率模块1380休止或处于静止状态中时帮助将反应堆容器1322和安全壳1324之间的相应位置或距离对中和维持所述反应堆容器1322和安全壳1324之间的相应位置或距离。

[0116] 安全壳耳轴1385示出为被支撑在第二安装结构1387上。在某些示例中,安装结构1387从反应堆舱壁1327突出或延伸。安全壳耳轴1385可以当水平力FH1或FH2作用在功率模块1380上时沿着安装结构1387运动或滑动。第二阻尼元件1386可以构造成使由安全壳1324和反应堆舱壁1327传递的或在安全壳1324和反应堆舱壁1327之间传递的水平力FH1的冲击衰减或减小。第二阻尼元件1386也当功率模块1380休止或处于静止状态中时帮助将安全壳1324和反应堆舱壁1327之间的相应位置或距离对中和维持所述安全壳1324和反应堆舱壁1327之间的相应位置或距离。

[0117] 第一阻尼元件1376示出为被容纳在反应堆容器耳轴1375中。在反应堆容器耳轴1375中布置有反应堆容器保持销1390以提供用于第一阻尼元件1376的接触面。例如,反应堆容器保持销1390可以是安全壳1324或安全壳耳轴1385的延伸部。在某些示例中,反应堆容器保持销1390被刚性地连接到安全壳1324。反应堆容器保持销1390可以通过安全壳1324的两侧延伸。

[0118] 水平力FH2可以经由反应堆容器保持销1390和第一阻尼元件1376通过反应堆容器1322和安全壳1324传递或在反应堆容器1322和安全壳1324之间传递。反应堆容器1322和安全壳的竖直运动可以通过反应堆容器耳轴1375、反应堆容器保持销90和安装结构1377之间的相互作用约束。反应堆容器1322和安全壳1324的竖直运动还可以通过安全壳耳轴1385和安装结构1387之间的相互作用约束。

[0119] 弹性阻尼和保持结构1370还可以构造成提供用于功率模块1380的热缓冲器。除了衰减以外,阻尼或以其它方式减小传递到功率模块1380的部件或在功率模块1380的部件之间传递的动态力和地震力,弹性阻尼和保持结构1370可以减小反应堆容器1322和安全壳1324之间的传热。例如,第一安装结构1377和第二安装结构1387中的一个或二者可以用热绝缘物作内衬。

[0120] 图14示出用于将功率模块隔震的示例过程1400。系统1400可以理解为借助但不限

于参照本文如图1至图13所示的各种示例所示的或所述的装置来操作。

[0121] 在操作1410处,功率模块被支撑在支撑结构上。支撑结构可以位于功率模块的近似中点或近似重心处或略高于功率模块的近似中点或近似重心处。

[0122] 在操作1420处,功率模块的转动被约束。支撑结构可以用作用于转动的枢转点。

[0123] 在操作1430处,通过支撑结构传递到功率模块的地震力被阻尼或衰减。在某些示例中,地震力通过包括弹性材料的阻尼装置衰减。

[0124] 在操作1440处,功率模块沿着一个或多个横向方向的运动被约束在固定的运动范围内。在横向力衰减时,功率模块返回到其原始休止位置。在某些示例中,阻尼装置包括圆形表面,并且支撑结构包括圆形凹陷部,其构造成容纳圆形表面。

[0125] 在操作1450处,功率模块沿着纵向方向的运动被约束在固定的运动范围内。在纵向力衰减时,功率模块返回到其原始休止位置。纵向方向是与操作1440的一个或多个横向方向垂直。

[0126] 已经说明了与图1至图14有关的多个示例。虽然如此,将应理解,可以做出各种修改。例如,公开的技术的步骤可以按照不同的顺序执行,在公开的系统中的部件可以以不同的方式组合,并且/或者部件可以由其它部件替换或增补。因此,其它实施方案处于以下示例的范围内。

[0127] 功率模块可以包括完全地浸没在液体池中的安全壳、被容纳在安全壳中的反应堆容器和支撑结构,所述支撑结构包括联接到安全壳的相对的侧的支撑臂。液体池可以布置在地面以下,即,池可以是在地底下。另外,安全壳可以构造成响应于作用在安全壳上的侧向力沿着基本侧向方向滑动。

[0128] 支撑结构可以位于安全壳的近似中点处并且构造成围绕在支撑臂之间通过安全壳的近似中点延伸的轴线转动反应堆容器或安全壳中的至少一个。另外,功率模块可以由支撑结构与作用在安全壳上的液体池的浮力组合地支撑。

[0129] 支撑结构可以包括布置在安全壳的第一侧上的第一支撑结构,并且功率模块还可以包括布置在安全壳的与第一侧相对的第二侧上的第二支撑结构。

[0130] 在某些示例中,支撑结构可以位于功率模块的近似重心处或略高于功率模块的近似重心处。在某些示例中,支撑结构可以包括弹性阻尼装置。支撑臂可以被刚性地附装到安全壳。另外,弹性阻尼装置可以位于支撑臂和液体池中的安装结构之间且与支撑臂和液体池中的安装结构中的一个接触。

[0131] 弹性阻尼装置可以构造成响应于支撑臂和安装结构加压在一起而压缩。另外,弹性阻尼装置可以构造成响应于支撑臂和安装结构加压在一起而抵靠支撑臂和安装结构中的至少一个施加反作用力。

[0132] 在某些示例中,安装结构可以被刚性地联接到至少部分地封装液体池的反应堆舱,并且安装结构可以从反应堆舱的基本竖直的壁延伸到在基本竖直的壁和安全壳之间的液体池中的位置。支撑臂可以包括空心轴。另外,安装结构可以包括凹陷部,所述凹陷部构造成接收弹性阻尼装置的部分。

[0133] 可以在支撑结构和安装结构之间的界面处布置有枢转点。例如,枢转点可以位于弹性阻尼装置处或附近,并且安全壳可以构造成响应于作用在安全壳上的转动力围绕枢转点转动。

[0134] 功率模块还可以包括位于安全壳的下端部处的基底支撑件或基底裙部。安全壳可以构造成围绕支撑臂枢转,并且基底支撑件可以构造成如果安全壳围绕支撑臂枢转则接触液体池中的对准装置。

[0135] 基底支撑件可以围绕安全壳的外表面的圆周刚性地联接到安全壳的下端部。对准装置可以从至少部分地封装液体池的反应堆舱的底面延伸到液体池中,并且对准装置的顶部部分可以布置在由基底支撑件限定的容积内。另外,功率模块可以包括至少一个阻尼器,所述至少一个阻尼器在对准装置的顶部部分和基底支撑件之间布置在基底支撑件的容积内。

[0136] 阻尼器可以构造成响应于对准装置和基底支撑件之间的接触而压缩,并且阻尼器可以构造成响应于该接触而抵靠对准装置或基底支撑件中的至少一个施加反作用力。

[0137] 功率模块还可以包括插置于反应堆容器和安全壳之间的第一阻尼装置和插置于安全壳和池壁之间的第二阻尼装置。第一阻尼装置和第二阻尼装置可以构造成使作用在功率模块上的动态力和/或地震力衰减。

[0138] 图15示出示例反应堆压力容器(RPV) 1500,其包括顶封头1510和底封头1520,所述顶封头1510和底封头1520安装在基本圆筒状的本体1550的任一端部上。底封头1520可以在RPV 1500的组装、安装、再加燃料和/或其它操作模式期间被可去除地附装到本体1550。底封头1520可以通过栓接的法兰附装到本体1550。另外,RPV 1500可以包括一个或多个支撑结构1530,其围绕本体1550的圆周布置。在某些示例中,RPV 1500包括四个支撑结构1530,其位于围绕本体1550九十度的增量处。

[0139] 支撑结构1530可以包括附装到RPV 1500的支撑构件1535和一个或多个安装基底1532。支撑构件1535可以构造成以一角度远离本体1550延伸,使得在本体1550和一个或多个安装基底1532之间提供间隙。例如,一个或多个安装基底1532可以被定位成使得它们比RPV 1500的任何其它部件离本体1550更远地径向布置。支撑结构1530可以构造成沿着大致竖直或纵向方向支撑RPV 1500。在某些示例中,支撑结构1530也可以构造成沿着大致水平的方向、横向方向、径向方向和/或侧向方向支撑RPV 1500。

[0140] 支撑结构1530可以构造成提供用于RPV 1500的热“锚件”。例如,在RPV 1500热膨胀期间,可以假定在与支撑结构1530相邻的RPV 1500的部分处至少沿着竖直或纵向方向没有热膨胀。然而,RPV 1500可以理解为根据离支撑结构1530的距离沿着大致纵向方向膨胀。相对于支撑结构1530,RPV 1500的顶封头可以向上运动,并且RPV 1500的底封头可以向下运动。

[0141] 一个或多个径向支架1540也可以安装到本体1550。在某些示例中,RPV 1500可以包括四个径向支架1540,它们位于围绕本体1550九十度的增量处。径向支架1540可以构造成提供RPV 1500的侧向和/或转动支撑。在某些示例中,径向支架1540可以构造为从本体1550凸出的径向链环或凸耳。径向支架1540可以是可与图1至图14中所示的隔震和/或阻尼系统中的一个或多个一起操作的。

[0142] 图16示出包括安全壳(CNV) 1600和RPV组件的示例反应堆模块1650的局部剖视图,所述RPV组件例如是图15的RPV 1500。CNV 1600可以构造成将RPV 1500支撑在支撑结构1530和径向支架1540中的一个或二者处。CNV 1600可以包括平台1630,所述平台1630朝向RPV 1500向内凸出并且用作用于使支撑结构1530搁置在上面的基底。支撑结构1530可以由

平台1630沿着垂直方向并且由CNV 1600的内壁沿着横向或径向方向约束。在其它示例中,栓接的界面可以用于将侧向载荷从支撑结构1530转移到平台1630。CNV 1600可以构造成将RPV 1500的支撑结构1530支撑在CNV 1600的蒸汽发生器增压室水平处。

[0143] CNV 1600可以包括顶封头1610和底封头1620。在某些示例中,底封头1620可以在栓接的法兰1640处被可去除地附装到CNV 1600。CNV 1600可以构造成将RPV 1500的径向支架1540支撑在法兰1640附近。径向支架1540可以沿着纵向方向、径向方向和/或圆周方向被约束在CNV 1600内。径向支架1540可以构造成允许用于在RPV 1500和CNV 1600之间热膨胀。在某些示例中,径向支架1540可以在RPV 1500的下半部分处被水平地压制在RPV 1500和CNV 1660之间。

[0144] 由反应堆模块1650经历的地震和/或动态加载可以产生燃料加速度和/或燃料冲击载荷。尤其,燃料加速度可以通过设置支撑件而明显地降低,所述支撑件例如是位于RPV 1500的下半部分处或附近的径向支架1540。

[0145] CNV 1600可以构造成包含有和支撑RPV 1500。另外,CNV 1600可以容纳反应堆模块1650的反应堆冷却系统、内部管道系统、内阀和其它部件。与径向支架1540组合的支撑结构1530可以构造在反应堆模块1650内以经受住由于热瞬变和热膨胀而导致的载荷和支撑由于地震和其它动态加载而导致的侧向载荷。例如,反应堆模块1650可以构造成经受住和/或响应于至少两个类型的地震状态,包括安全停止地震(SSE)事件和操作基准地震(OBE)事件,如先前所讨论的。

[0146] 底封头1620可以包括和/或附装到基底支撑件,例如,基底裙部1670。基底裙部1670可以被刚性地安装到CNV 1600、被焊接在CNV 1600上和/或形成CNV 1600的成一体的部分。基底裙部1670可以构造成搁置在地面上和/或搁置在反应堆舱的下表面上。在某些示例中,反应堆模块1650的重量的基本全部可以由基底裙部1670支撑。

[0147] 一个或多个径向支架1645可以被安装到CNV 1600。在某些示例中,CNV 1600可以包括四个径向支架1645,它们位于九十度的增量处。径向支架1645可以构造成主要为CNV 1600提供侧向和/或转动支撑。在某些示例中,径向支架1645可以构造为从CNV 1600凸出的径向链环或凸耳。径向支架1645可以是可与图1至图14的隔震和/或阻尼系统中的一个或多个一起操作的。

[0148] 图17示出包括RPV 1750和CNV 1760的示例反应堆模块1700的剖视图。RPV 1750可以与第一直径D1相关联,并且类似地CNV 1760可以与比第一直径D1大的第二直径D2相关联。RPV 1750的底封头1755可以与CNV的底封头1765分离了或间隔开了距离1790。距离1790可以提供用于热绝缘的空间以基本包封RPV 1750。在某些示例中,热绝缘可以包括部分真空。

[0149] 由距离1790所提供的空间还可以构造成在CNV 1760内为RPV 1750提供热膨胀和/或热瞬变。CNV 1760可以被至少部分地浸没在水中,并且RPV 1750的热膨胀的量基于操作温度的差异可以明显大于CNV 1760的热膨胀的量。另外,距离1790可以在地震事件期间在RPV 1750和CNV 1760之间提供间隙以阻止容器彼此接触。

[0150] 反应堆芯1710可以被容纳在RPV 1750内。反应堆芯1710可以与RPV 1750间隔开了距离1720。由距离1720所形成的空间可以构造成促进在RPV 1750内的冷却剂的循环以使其穿过反应堆芯1710。另外,距离1720可以在动态事件或地震事件期间或考虑到热膨胀和/或

热瞬变而在RPV 1750和反应堆芯1710之间提供间隙。

[0151] 在地震事件期间,从地面1775内和/或从支撑面1740例如周围的安全建筑的地板下方所产生的地震力可以传递到基底支撑件,例如,CNV 1760的基底裙部1770。地震力可以通过CNV 1760的壳壁向上遵循传输路径1705,所述传输路径1705可以经由一个或多个附装点转移到RPV 1750,所述一个或多个附装点例如是支撑结构1530和/或径向支架1540(图15)。传输路径1705可以表示供地震力传输通过的总示例路径的至少部分,所述总示例路径以地震力的源开始并且最终继续达到位于RPV 1750内的燃料组件。其它部件可以经历不同的示例传输路径。

[0152] CNV 1760的底面1730可以位于在地面1775和/或支撑面1740上方的某一距离处。在某些示例中,位于CNV 1760和支撑面1740之间的空间可以提供用于使周围的水冷却CNV 1760的外表面的余地。

[0153] 图18示出包括地震衰减装置的示例系统1800,所述地震衰减装置构造为径向键1840。径向键1840可以包括一个或多个柱,所述一个或多个柱从RPV 1850围绕其半径向外延伸并且接合一个或多个托架,例如,第一托架1810和第二托架1820。托架可以从周围的CNV 1860向内延伸。径向键1840可以位于RPV 1850的底封头1855处或附近。径向键1840中的每个都可以插置于诸如第一托架1810和第二托架1820的一对托架之间。托架可以位于CNV 1860的底封头1865处或附近。在某些示例中,三个或更多个径向键可以围绕RPV 1850的圆周间隔开以接合位于CNV 1860的周边内的相对应数量的托架对。

[0154] 径向键1840可以构造成稳定、阻尼、衰减、减小或以其它方式缓解由RPV 1850经历的任何动态力或地震力。在地震事件期间,径向键1840可以构造成接触第一托架1810和第二托架1820中的一个或二者以限制或禁止RPV 1850沿着圆周方向1830运动/转动。与托架中的一个或多个接触也可以施加摩擦力以抵抗或阻尼RPV 1650例如朝向CNV 1860的内壁沿着横向或径向方向1880运动。在某些示例中,CNV 1860的内壁可以抑制RPV 1850沿着径向方向1880运动。

[0155] 基底支撑件,例如附装到CNV 1860的底部的基底裙部1870,可以构造成支撑包括CNV 1860和RPV 1850在内的反应堆模块的重量。在地震事件期间,地震力可以从基底裙部1870通过CNV 1860的壳壁通过传输路径1805向上传输,所述传输路径1805可以将地震力经由一个或多个托架例如第一托架1810和/或第二托架1820传递到RPV 1850的径向键1840。传输路径1805可以表示供地震力传输的总示例路径的至少部分,所述总示例路径以地震力的源开始并且最终继续达到位于RPV 1850内的燃料组件。

[0156] 通过将地震力在底封头附近传输到RPV 1850,传输路径1805可以明显短于传输路径1705(图17)。在某些示例中,传输路径的减小可以产生较小量的动态力和/或地震力,所述较小量的动态力和/或地震力将以其它方式施加到RPV 1750和任何内部部件,例如,反应堆芯和/或燃料棒。动态力/地震力的振幅和/或大小可以随着力从地面或支撑面经由一个或多个中间结构传输到RPV而根据传输路径的长度放大。

[0157] 图19示出包括地震衰减装置的示例系统1900,所述地震衰减装置构造为径向缓冲器1910。径向缓冲器1910可以从CNV 1960的内壁延伸。基底支撑件,例如,附装到CNV 1960的底部的基底裙部1970,可以构造成支撑包括CNV 1960在内的反应堆模块的重量。径向缓冲器1910可以在CNV 1960的底封头1920处或附近附装到CNV 1960。在某些示例中,径向缓

冲器1910可以附装到位于基底裙部1970上方的CNV 1960的圆筒形壁1950。

[0158] 图20示出与RPV 2050一起的图19的示例系统1900。径向缓冲器1910可以构造成稳定、阻尼、衰减、减小或以其它方式缓解由RPV1950经历的任何动态力或地震力。在地震事件期间,径向缓冲器1910可以构造成接触RPV 1950的外表面和限制或禁止RPV 1950沿着横向或径向方向运动。与缓冲器1910中的一个或多个接触也可以施加摩擦力以抵抗或阻尼RPV 1950沿着圆周方向运动/转动。

[0159] 在地震事件期间,地震力可以从基底裙部1970通过CNV 1960的壳壁通过传输路径2005向上传输,所述传输路径2005可以经由多个径向缓冲器1910中的一个将地震力传递到RPV 2050。在某些示例中,径向缓冲器1910和/或径向键1840(图18)可以构造成与在图1至图14中的一个或多个中所示的隔震和/或阻尼系统中的一个或多个一起操作和/或包括它们。

[0160] 图21示出包括地震衰减装置的示例系统2100,所述地震衰减装置构造为竖向键2155。在某些示例中,竖向键2155可以构造为位于RPV 2150的底封头2110上的圆柱或圆锥柱。竖向键2155可以构造成配合到位于CNV 2160的底封头2120处的凹陷部2165中。凹陷部2165可以包括圆孔,所述圆孔的尺寸设定成接收竖向键2155。

[0161] 竖向键2155可以构造成为RPV 2150提供沿着横向或径向方向2135的横向支撑。另外,可以在竖向键2155和凹陷部2165之间设置有空隙2130以允许用于使RPV 2150沿着纵向方向2115热膨胀。在某些示例中,空隙2130沿着纵向方向可以是大约四英寸至六英寸。在RPV 2150热膨胀期间,竖向键2155的较大部分可以插入凹陷部2165中并且有效地将空隙2130减小了两英寸或更长。在某些示例中,RPV2150可以由于内压增大而膨胀。例如,在某一标称操作状态处或在最小量的热膨胀处,当RPV 150处于环境温度下时,竖向键2155可以至少部分地保持插入凹陷部2165内。

[0162] 与竖向键2155相关联的直径可以充分小于凹陷部2165的直径以在装配期间提供间隙和/或公差。在某些示例中,竖向键2155的直径可以是介于一英尺和两英尺之间,并且在竖向键2155和凹陷部2165内的接触点2125之间的间隙可以是大约八分之一英寸、十六分之一英寸或更小。在又一些其它示例中,相对直径可以仅是略有不同,以便使竖向键2155可以在几乎没有间隙的情况下被压力配合到凹陷部2165中。

[0163] 依据反应堆模块是处于停止(即,冷)操作状态中还是处于全功率(即,热)操作状态中,反应堆模块组件可以经历变化的差热生长。因此,上述地震衰减装置中的一个或多个可以构造成稳定、阻尼、衰减、减小或以其它方式缓解在热操作状态和冷操作状态二者中由RPV和/或反应堆芯所经历的任何动态力或地震力。在一个或多个地震衰减装置和相邻的容器表面之间的径向空隙和/或间距可以设置成适应差热径向生长。在某些示例中,在竖向键2155和接触点2125之间的径向空隙可以设置成允许用于使竖向键2155沿着径向方向2135热膨胀。径向空隙的距离可以根据竖向键的直径改变。

[0164] 竖向键2155可以在组装、安装、再加燃料和/或其它操作模式期间插入凹陷部2165中和/或从凹陷部2165去除。图21中所示的系统2100可以构造成与圆周对准无关地将RPV 2150与CNV 2160组装在一起。例如,竖向键2155可以构造成不管RPV 2150的转动取向如何而安装到凹陷部2165中。另外,竖向键2155的一个或多个下拐角可以是锥形的,以帮助对准凹陷部2165和/或帮助进入凹陷部2165中。

[0165] 竖向键2155可以构造成稳定、阻尼、衰减、减小或以其它方式缓解由RPV 2150经历的任何动态力或地震力。在地震事件期间,竖向键2155可以构造成在一个或多个侧向接触点2125处接触凹陷部2165,限制或禁止RPV 2150沿着径向方向2135运动/转动。在某些示例中,竖向键2155和凹陷部2165之间的接触也可以施加摩擦力以抵抗RPV 2150在CNV 2160内的转动运动和/或抵抗RPV 2150沿着纵向方向2115的竖直运动。

[0166] 基底支撑件,例如附装到CNV 2160的底部的基底裙部2170,可以构造成支撑包括CNV 2160和RPV 2150在内的反应堆模块的重量。在地震事件期间,地震力可以从基底裙部2170通过传输路径2105传输,所述传输路径2105可以经由在凹陷部2165内的一个或多个侧向接触点2125将地震力传递到RPV 2150的竖向键2155。

[0167] 竖向键2155可以从RPV 2150在底封头2110的纵向中心线处向下延伸。CNV 2160的底封头2120可以例如通过添加材料或增大底封头2120的壁厚来加强。在某些示例中,凹陷部2165可以从CNV 2160的底封头2120的内表面加工出来。

[0168] 在RPV 2150的底封头2110处加载诸如竖向键2155的地震衰减装置与使用如图15中所示的径向支架1540相比会明显地减小在燃料组件上的地震加速度和冲击载荷(例如,减小了六倍或更多)。如与穿过位于源(地面运动)和燃料组件之间的一个或多个子系统的传输路径相比,更短的传输路径会有效地消除或降低力的传输性。

[0169] 在某些示例中,竖向键2155可以被锻造为RPV 2150的底封头2110的成一体的部分。在其中竖向键2155被附装例如被焊接到底封头2110的示例中,竖向键2155可以由与底封头2110相同的材料制成。例如,RPV 2150、底封头2110和/或竖向键2155可以由SA-508、等级3、1级钢锻件或其它适当的材料制成。

[0170] 抽吸管线2190可以构造成去除处于凹陷部2165内的流体。在某些示例中,RPV 2150和CNV 2160之间的环形空间2175可以在反应堆模块操作期间被抽空。流体和/或气体通过抽吸管线2190的去除可以帮助产生和/或维持基本包围RPV 2150的抽空室。

[0171] 图22示出又一个包括地震衰减装置的示例系统2200,所述地震衰减装置构造为竖向键或柱2265。在某些示例中,竖向键2265可以构造为位于CNV 2260的底封头2220上的圆柱或圆锥柱。竖向键2265可以构造成配合到位于相邻的RPV 2250的底封头2210处的凹陷部2255中。凹陷部2255可以包括圆孔,所述圆孔的尺寸设定成接收竖向键2265。

[0172] 竖向键2265可以构造成成为RPV 2250提供沿着横向或径向方向2235的横向支撑。另外,可以在竖向键2265和凹陷部2255之间设置有空隙2230以允许用于使RPV 2250沿着纵向方向2215热膨胀。与竖向键2265相关联的直径可以充分小于凹陷部2255的直径以在装配期间提供间隙和/或公差。在某些示例中,该间隙可以是大约十六分之一英寸或更小。在又一些其它示例中,相对直径可以仅是略有不同,以便使竖向键2265可以在几乎没有间隙的情况下被压力配合到凹陷部2255中。

[0173] 竖向键2265可以在组装、安装、再加燃料和/或其它操作模式期间插入凹陷部2255和/或从凹陷部2255去除。图22中所示的系统2200可以构造成与圆周对准无关地将RPV 2250与CNV 2260组装在一起。例如,竖向键2265可以构造成不管RPV 2250的转动取向如何而安装到凹陷部2255中。另外,竖向键2265的一个或多个下拐角可以是锥形的,以帮助对准凹陷部2255和/或帮助进入凹陷部2255中。

[0174] 竖向键2265可以构造成稳定、阻尼、衰减、减小或以其它方式缓解由RPV 2250经历

的任何动态力或地震力。在地震事件期间,竖向键2265可以构造成在一个或多个侧向接触点2225处接触凹陷部2255,限制或禁止RPV 2250沿着径向方向2235运动/转动。在某些示例中,竖向键2265和凹陷部2255之间的接触也可以施加摩擦力以抵抗RPV 2250在CNV 2260内的转动运动和/或抵抗RPV 2250沿着纵向方向2215的垂直运动。

[0175] 竖向键2230可以从CNV 2260在底封头2220的纵向中心线2290处向上延伸。RPV 2250的底封头2210可以例如通过添加材料或增大底封头2210的壁厚来加强。在某些示例中,凹陷部2255可以从RPV 2250的底封头2220的外表面加工出来。

[0176] 基底支撑件,例如附装到CNV 2260的底部的基底裙部2270,可以构造成支撑包括CNV 2260和RPV 2250在内的反应堆模块的重量。在地震事件期间,地震力可以从基底裙部2270通过底封头2220经由从竖向键2230到凹陷部2255内的一个或多个侧向接触点2225的力传输而传输到RPV 2250。

[0177] 基底裙部2270可以搁置在包括钢筋混凝土的地板2240上。另外,基底裙部2270可以包括环形结构,其连接到底封头2220的圆周。基底裙部2270可以构造放置成接近一个或多个止挡件2280。在某些示例中,一个或多个止挡件2280可以包括环形的圆环状结构,其附装到地板2240。一个或多个止挡件2280可以构造成当RPV 2250放置在地板2240上时对准RPV 2250。另外,一个或多个止挡件2280可以构造成限制和/或禁止CNV 2260沿着径向方向2235侧向运动。

[0178] CNV 2260的底封头2220可以位于在上面放置有基底裙部2270的地板2240上方的某一距离2245处。在某些示例中,距离2245可以是介于六英寸和一英尺之间。位于CNV 2260和地板2240之间的空间可以提供用于使周围的水冷却CNV 2260的外表面的余地。另外,基底裙部2270可以包括一个或多个通孔2275以允许水进入基底裙部2270内的空间,以便冷却底封头2220。

[0179] 在某些示例中,竖向键2265可以被锻造为CNV 2260的底封头2220的成一体的部分。在其中竖向键2265被附装例如被焊接到底封头2220的示例中,竖向键2265可以由与底封头2220相同的材料制成。例如,CNV 2260、底封头2220和/或竖向键2265可以由SA-508、等级3、1级钢锻件或其它适当的材料制成。

[0180] 围绕竖向键2265提供的径向间距和/或间隙可以为在CNV 2260内的RPV 2250提供某一略侧向的运动以提供柔韧的或非刚性的稳定系统。虽然RPV 2250可以允许运动,但是RPV 2250可以通过凹陷部2255约束以限制侧向运动的量。柔韧的稳定系统会比刚性连接的系统施加和/或传输更小的力。

[0181] 上述地震衰减装置中的一个或多个可以构造成在不限制RPV和CNV之间的差热生长的情况下例如沿着侧向或径向方向稳定、阻尼、衰减、减小或以其它方式缓解任何动态力或地震力。例如,诸如RPV2250的RPV的热生长可以是基于在环境条件和反应堆模块的设计温度之间的温度变化,所述温度变化在某些示例中可以是大约650°F。另一方面,当CNV浸没在接近环境温度的水池中或至少部分地由接近环境温度的水池包围时,诸如CNV 2260的CNV的热生长本质上会是不存在的。

[0182] 通过将竖向键2265附装到CNV 2260,RPV 2250的热膨胀可以促使凹陷部2230的内径增大,而竖向键2265的外径会与RPV 2250内的操作温度无关地保持基本不变。因此,在竖向键2265和凹陷部2230之间的侧向间隙可以正好大到足以帮助组装和/或装配,但是将不

必考虑到RPV 2250和/或竖向键2265沿着径向方向2235的热膨胀。在某些示例中,不管竖向键2265和凹陷部2230之间的任何非故意接触如何,RPV 2250和CNV 2260可以被认为本质上是彼此热绝缘的。

[0183] 图23示出包括地震衰减装置的示例系统2300,所述地震衰减装置构造为具有可替代的力传输路径2305的竖向键或柱2365。在地震事件期间,地震力可以从一个或多个止挡件2380和/或地面2305传输到诸如基底裙部2370的基底支撑件。从一个或多个止挡件2305侧向传输到基底裙部2370的力可以通过传输路径2305行进,并且在经由RPV 2250的凹陷部2255和竖向键2365的径向表面之间的一个或多个侧向接触点2325传递到RPV 2250之前沿着CNV 2360的底封头2320继续下去。

[0184] 如与系统2200(图22)相关联的传输路径相比,通过将基底裙部2370放置成离RPV 2250和/或CNV 2360的纵向中心线2390更近,在竖向键2365和或凹陷部2255可以对准的情况下,在一个或多个止挡件2380和RPV 2250之间的传输路径2305会更短。

[0185] 图24示出又一个包括地震衰减装置的示例系统2400,所述地震衰减装置构造为具有可替代的力传输路径2405的竖向键或柱2465。在地震事件期间,侧向力可以从一个或多个止挡件2470传输到诸如基底裙部2470的基底支撑件。传输路径2405可以在经由RPV 2250的凹陷部2255和竖向键2465的径向表面之间的一个或多个侧向接触点2425传递到RPV 2250之前从基底裙部2470沿着基本线性的方向通过CNV 2460的底封头2420和通过竖向键2465二者继续下去。

[0186] 如与系统2300(图23)相关联的传输路径2305相比,通过将基底裙部2470布置成离RPV 2250和/或CNV 2460的纵向中心线2490更近,与系统2400相关联的传输路径2405会更短。在某些示例中,基底裙部2470可以直接位于径向键2465的至少部分的下方。在其它示例中,基底裙部2470可以直接位于凹陷部2255的至少部分的下方。传输路径2405可以理解为提供从地面或支撑面到RPV 2250的基本直接的线性路径。

[0187] 在某些示例中,凹陷部2255可以形成在凸台2450中,所述凸台2450从底封头2210延伸到RPV 2250的内部。凸台2450可以包括一个或多个曲面或斜面2252,其构造成沿着向上的方向指引冷却剂流2256以帮助进入反应堆芯的冷却剂的均匀质量流分布。在某些示例中,凸台2450可以构造成将冷却剂流2256的至少部分指引到反应堆芯的周边。

[0188] 图25示出包括地震衰减装置的示例系统2500,所述地震衰减装置构造为成一体的竖向键2565和横向支撑件2575。竖向键2565可以从CNV 2560的内表面沿着基本竖直的方向向上延伸到容纳在CNV 2560内的RPV 2250的相邻的凹陷部2255中。横向支撑件2575可以从CNV 2560的外表面朝向支撑面2540沿着基本竖直的方向向下延伸。在某些示例中,竖向键2565和横向支撑件2575二者可以沿着CNV 2560和RPV 2250二者中的一个的纵向中心线2590竖直地对准。

[0189] RPV 2250的重量可以主要由基底支撑件制成,所述基底支撑件例如是与图19的基底裙部1970类似的基底裙部2570。系统2500可以包括力传输路径2505。在地震事件期间,侧向力可以从一个或多个止挡件2580传输到侧向支撑件2575。传输路径2505可以在经由RPV 2250的凹陷部2255和竖向键2565的径向表面之间的一个或多个侧向接触点传递到RPV 2250之前从横向支撑件2575沿着基本线性的方向通过CNV 2560的底封头2520和通过竖向键2565二者继续下去。

[0190] 在某些示例中,横向支撑件2575可以直接位于径向键2565和/或凹陷部2255的至少部分的下方。传输路径2505可以理解为提供从支撑面2540到RPV 2250的基本直接的线性路径。横向支撑件2575可以构造成在不直接接触支撑面2540的情况下接触一个或多个止挡件2580。在某些示例中,竖向键2565既不构造成支撑RPV 2250或CNV 2560的重量中的任一个,侧向支撑件2575也不构造成支撑RPV 2250或CNV 2560的重量中的任一个。

[0191] 图26示出包括衰减装置的示例系统2600,所述衰减装置构造为具有圆锥形表面2685的竖向键2680。键2680可以构造成配合在具有互补形状的圆锥内表面2675的凹陷部2670内。圆锥表面2675、2685的倾斜的或成角度的轮廓可以在键2680和凹陷部2670之间提供侧向间隙2690。另外,圆锥表面2675、2685可以帮助包括RPV 2650和周围的CNV 2660在内的反应堆模块的装配和/或组装。在某些示例中,图26可以被认为示出包括处于标称或非膨胀状态中的RPV 2650和/或CNV 2660的反应堆模块。

[0192] 图27示出在RPV 2650经受热膨胀的情况下的图26的示例系统2600的扩大的局部视图。RPV 2750的热膨胀用虚线示出,其指示沿着纵向方向和径向方向二者的热膨胀。例如,与RPV 2650相关联的第一长度2710可以增大到与热膨胀的RPV 2750相关联的第二长度2720。类似地,RPV 2650可以沿着径向方向膨胀,如由与包括扩大的圆锥形表面2775的热膨胀的凹陷部2770相关联的扩大的直径2730图所示。

[0193] 图28示出处于膨胀状态中的图26的示例系统2600的扩大的局部视图。圆锥表面2685、2775的倾斜的或成角度的轮廓可以在CNV 2660的键2680和热膨胀的凹陷部2770之间提供侧向间隙2890。与热膨胀的RPV 2750相关联的侧向间隙2890可以近似等于在标称或非膨胀状态中的与RPV 2650(图26)相关联的侧向间隙2690。在某些示例中,侧向间隙2890可以是大约十六分之一英寸或更小。在其它示例中,侧向间隙2890可以是八分之一英寸或更小。在此也预料到其它和/或更大的尺寸。将侧向间隙维持在小于某一预定的尺寸处可以有效地使键2680和凹陷部2670之间的任何侧向运动相对于确定RPV 2650和CNV 2660之间的动态冲击力是微不足道的。

[0194] 图29示出又一个包括衰减装置的示例系统2900,所述衰减装置构造为具有圆锥形表面2985的锥形键2980。键2980可以构造成配合在具有互补形状的圆锥内表面2975的凹陷部2970内。键2980可以从RPV 2950的外表面沿着基本竖直的方向向下延伸到周围的CNV 2960的相邻的凹陷部2970中。圆锥表面2975、2985的倾斜的或成角度的轮廓可以在键2980和凹陷部2970之间提供侧向间隙2990。另外,圆锥表面2975、2985可以帮助包括RPV 2950和CNV 2960的反应堆模块的装配和/或组装。

[0195] 图30示出用于通过反应堆模块结构传输动态力或地震力的示例操作3000。反应堆模块结构可以包括安全壳,所述安全壳容纳反应堆压力容器。反应堆容器可以通过环形安全容积而与安全壳间隔开。在某些示例中,环形安全容积可以被抽空以在安全壳和反应堆压力容器之间提供热绝缘。

[0196] 在操作3010处,在安全壳内的反应堆压力容器的重量的某些或基本全部可以由支撑结构支撑。支撑结构可以穿过环形安全容积。

[0197] 在操作3020处,地震力可以传输到安全壳。安全壳可以由位于安全壳的底封头附近的基底支撑件支撑。在某些示例中,基底支撑件可以包括基底裙部。

[0198] 在操作3030处,由反应堆压力容器接收的地震力可以通过衰减装置衰减。在某些

示例中,衰减装置可以不构造成支撑反应堆压力容器的重量中的任何。衰减装置可以穿过环形安全容积。在某些示例中,衰减装置可以沿着反应堆压力容器的纵向中心线和/或安全壳的纵向中心线设置。衰减装置可以构造成使地震力沿着与一个或多个纵向中心线成横向的方向衰减。

[0199] 另外,衰减装置可以形成地震力衰减路径的一部分,所述地震力衰减路径将地震力从安全壳传递到反应堆压力容器。地震力衰减路径可以包括竖直部分,所述竖直部分穿过位于安全壳的底封头附近的基底支撑件。衰减装置可以构造成使地震力沿着与地震力衰减路径的竖直部分基本成横向的方向衰减。

[0200] 图31示出包括衰减装置的示例系统3100,所述衰减装置构造为阶梯状键3180。键3180可以构造成配合在具有互补形状的阶梯状内表面的凹陷部3170内。键3180可以从CNV3160的内表面沿着基本的竖直方向向上延伸到RPV3150的相邻的凹陷部3170中。键3180的阶梯形状可以包括具有第一直径的第一台阶3182和较大的具有第二直径的第二台阶3184。在某些示例中,图31可以被认为示出包括处于标称或非膨胀状态中的RPV 3150和/或CNV 3160的反应堆模块,其中在第一台阶3182和凹陷部3170之间提供侧向间隙。

[0201] 图32示出在RPV 3150处于扩大或膨胀状态中的图31的示例系统3100的扩大的局部视图。在膨胀状态中的键3180和凹陷部3170之间的侧向间隙3250可以近似等于如图31中所示与在标称或非膨胀状态中的RPV 3150相关联的侧向间隙。

[0202] 虽然本文提供的示例中的至少某些已经主要说明了压水反应堆和/或轻水反应堆,但是对于本领域的技术人员将显而易见,示例可以被应用到其它类型的动力系统。例如,示例或其变型中的一个或多个也会是可借助沸水反应堆、钠液态金属反应堆、气体冷却反应堆、球形燃料反应堆和/或其它类型的反应堆设计来操作的。

[0203] 应当注意到,示例不限于用于在核反应内产生热或与核反应相关联地产生热的任何特定类型的燃料。仅以示例的方式提供本文所述的任何比率和值。可以通过实验例如通过构造核反应堆系统的全尺寸模型或按比例缩小的模型来确定其它比率和值。

[0204] 在此已经说明了和示出了各种示例,将显而易见的是其它示例可以在布置和细节方面被修改。我们要求所有修改和变型均处于以下权利要求书的精神和范围内。

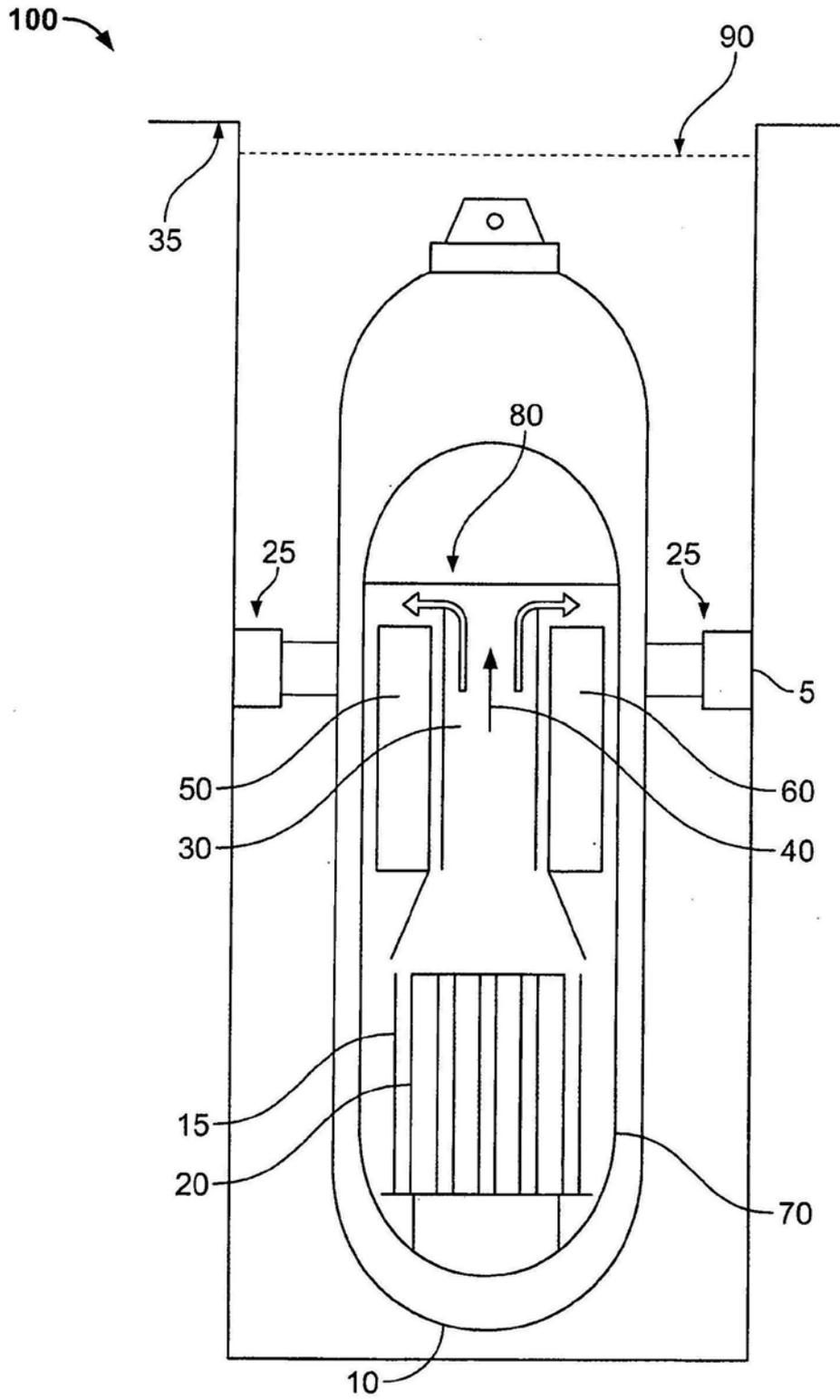


图1A

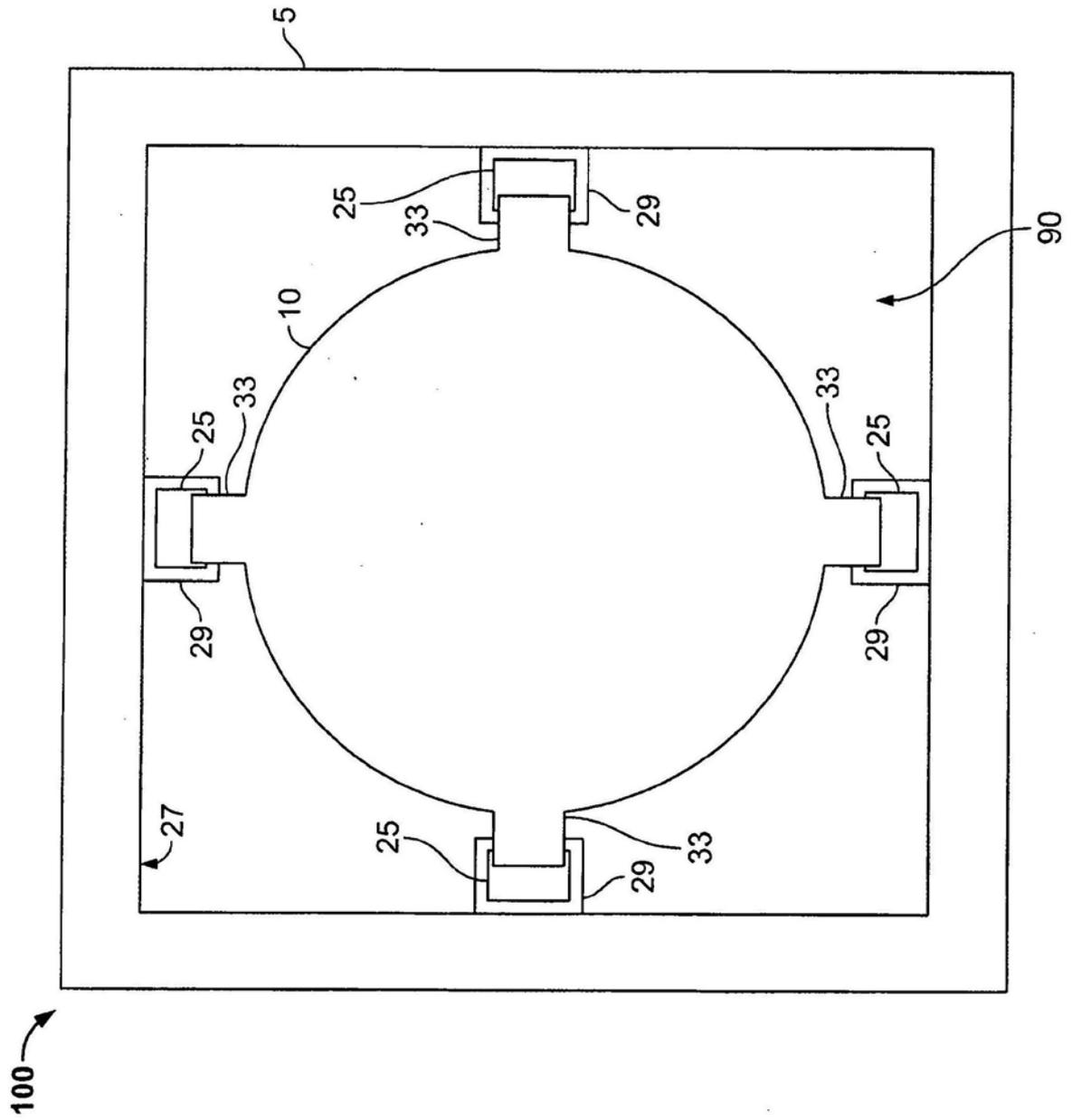


图1B

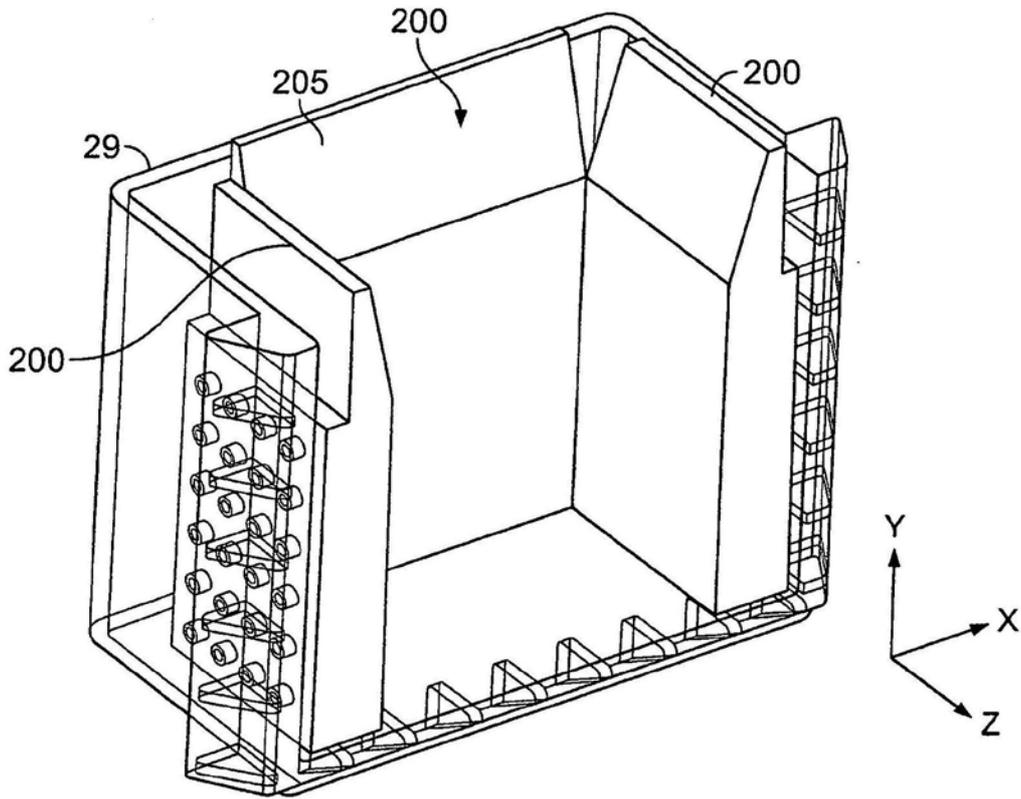


图2A

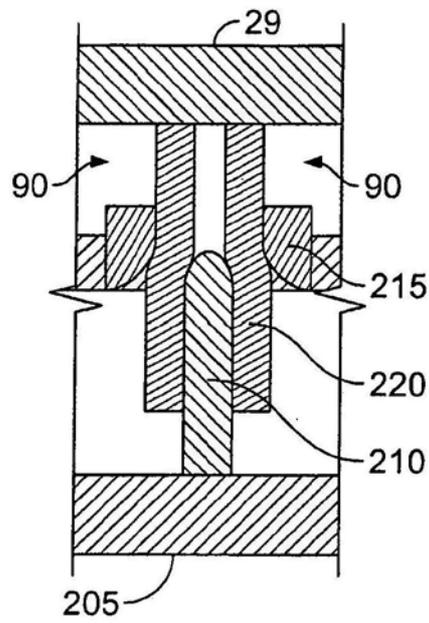


图3A

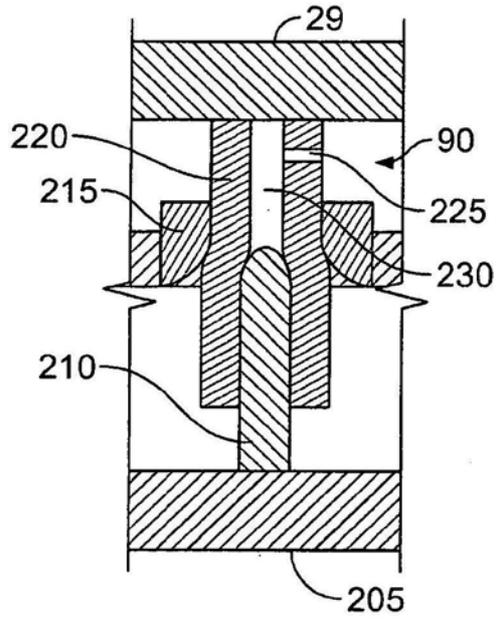


图3B

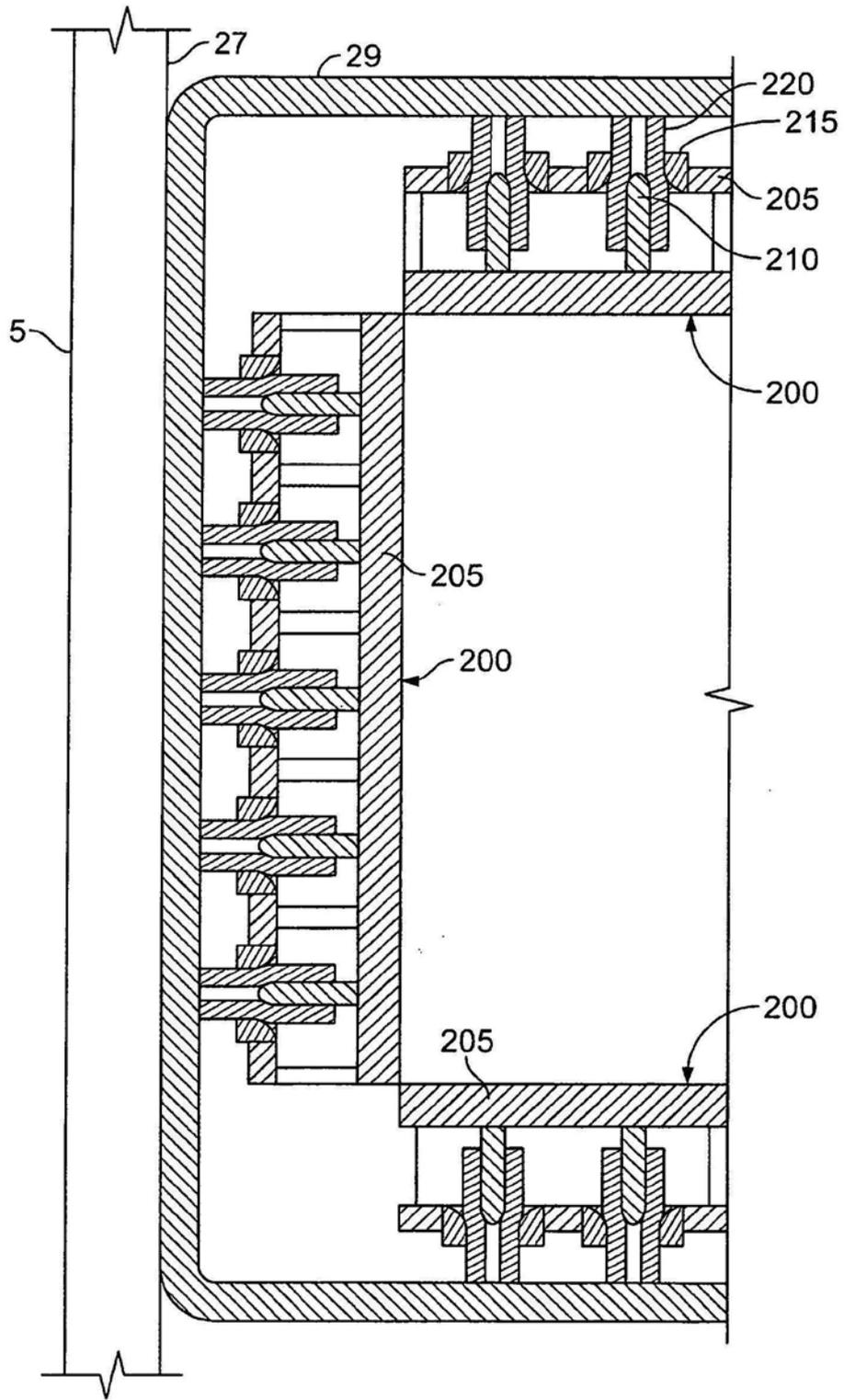


图2B

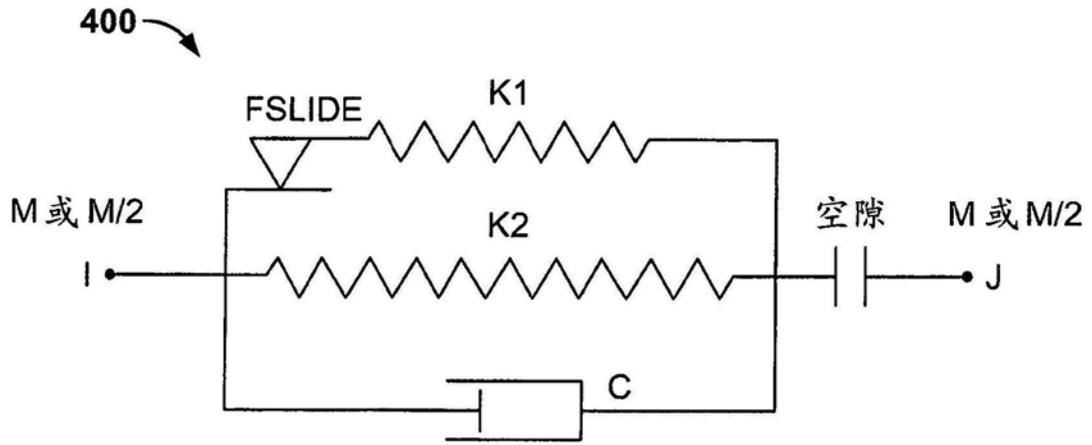


图4

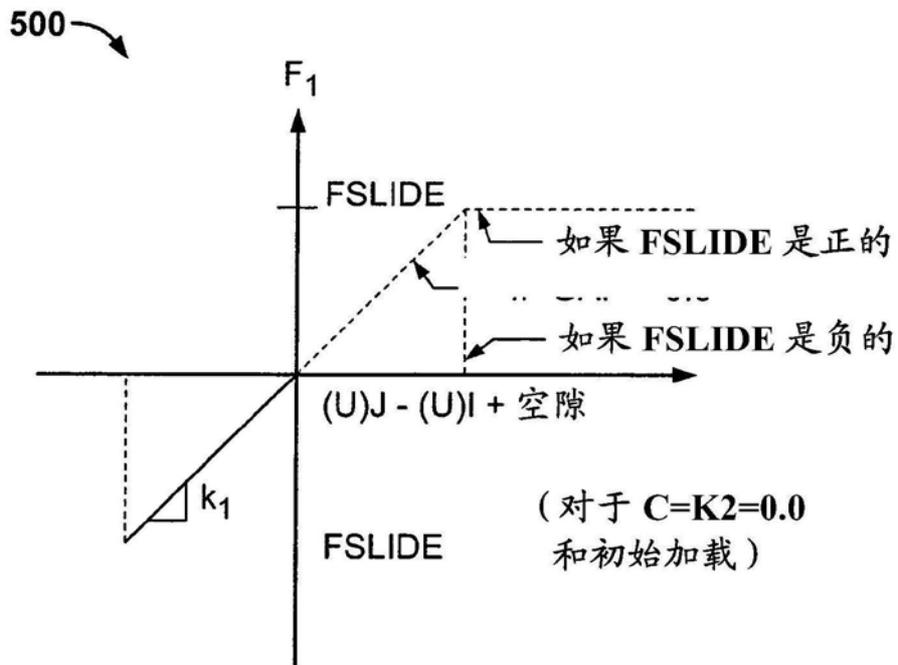


图5

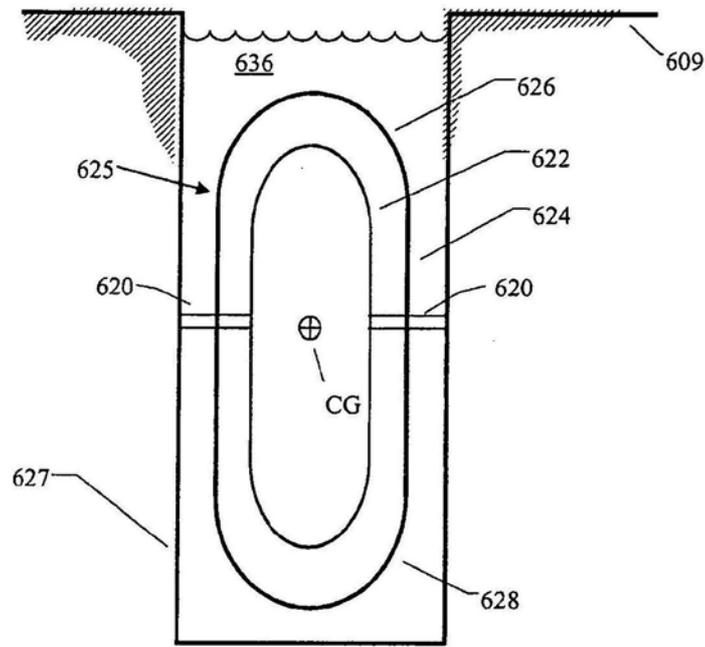


图6

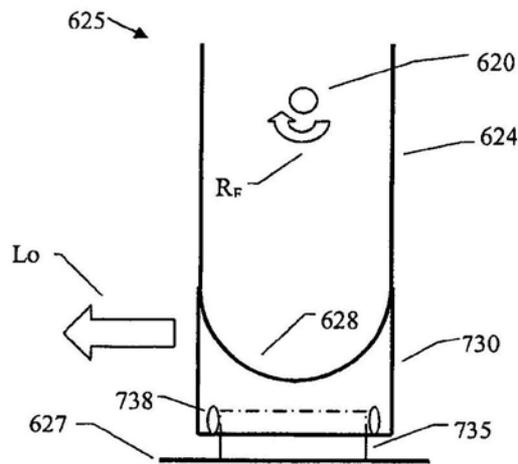


图7

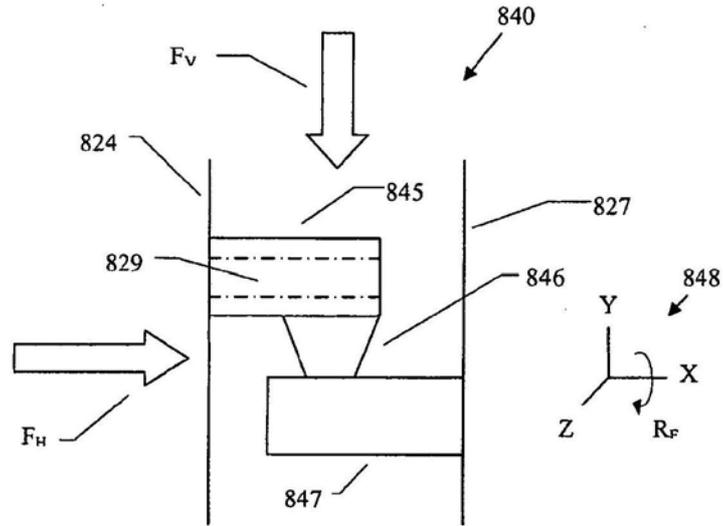


图8

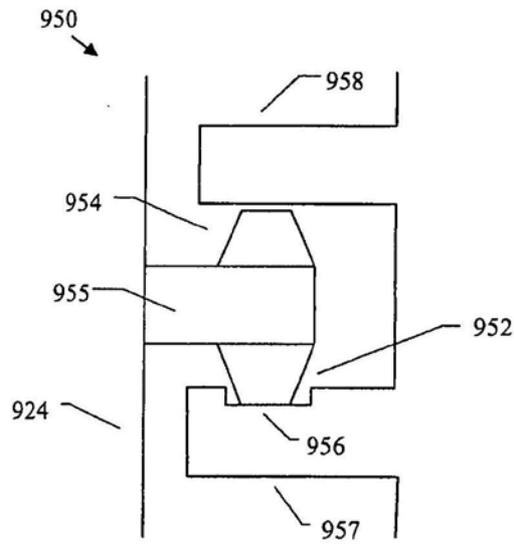


图9

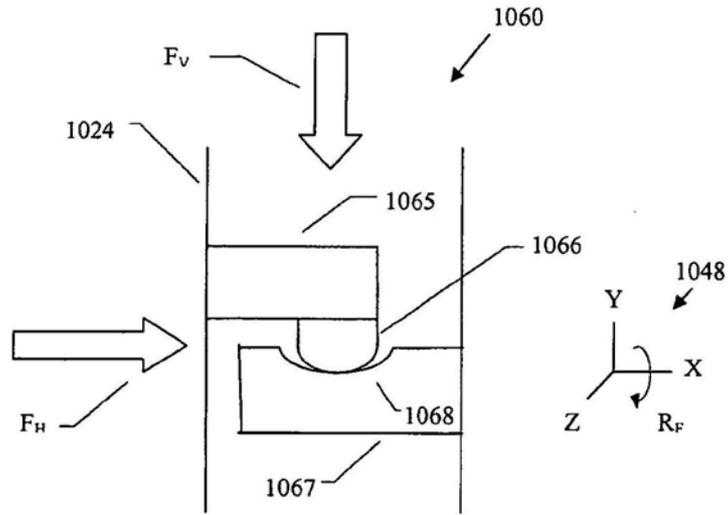


图10

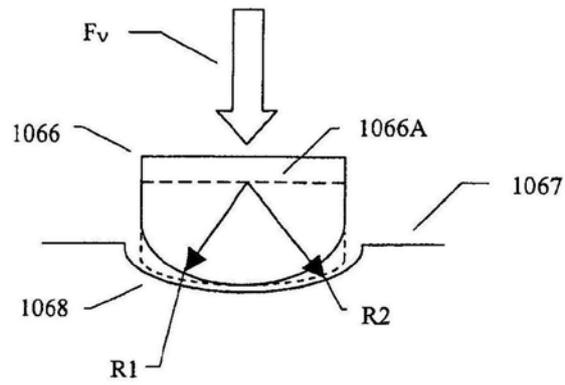


图11

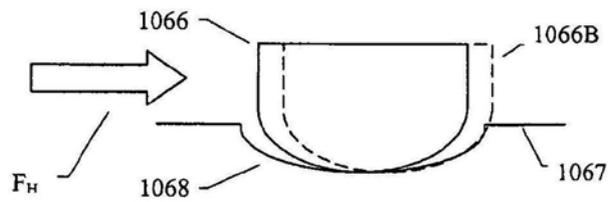


图12

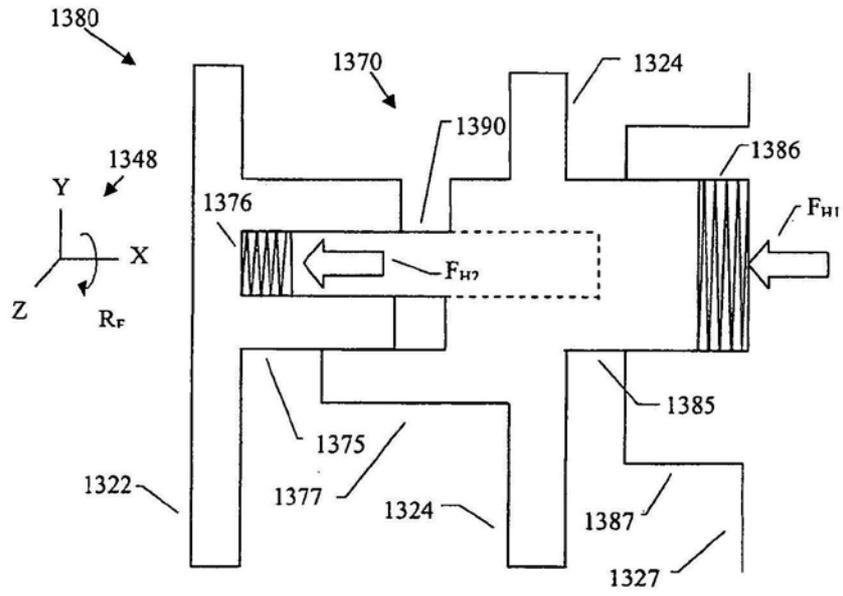


图13

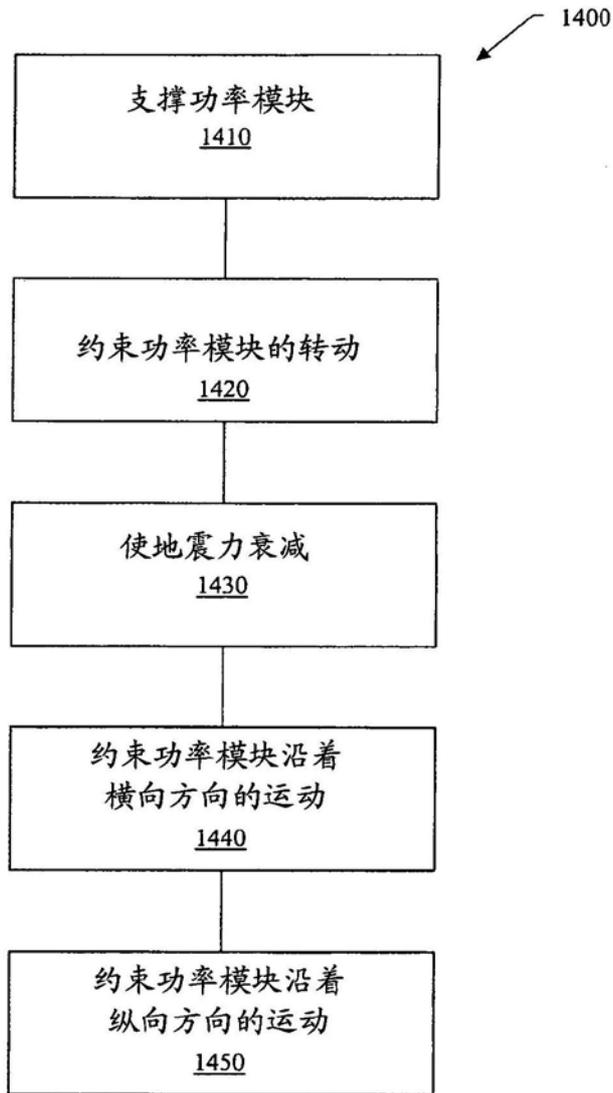


图14

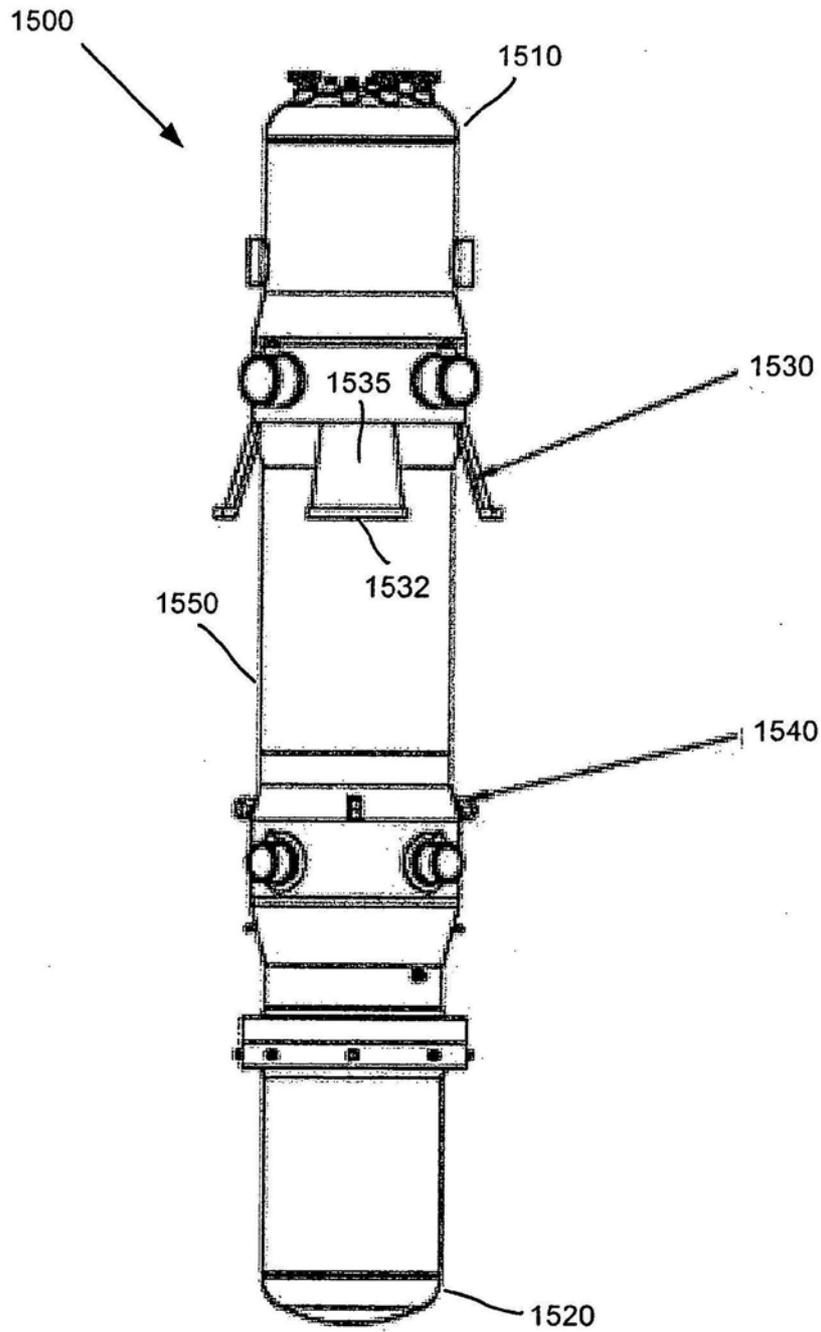


图15

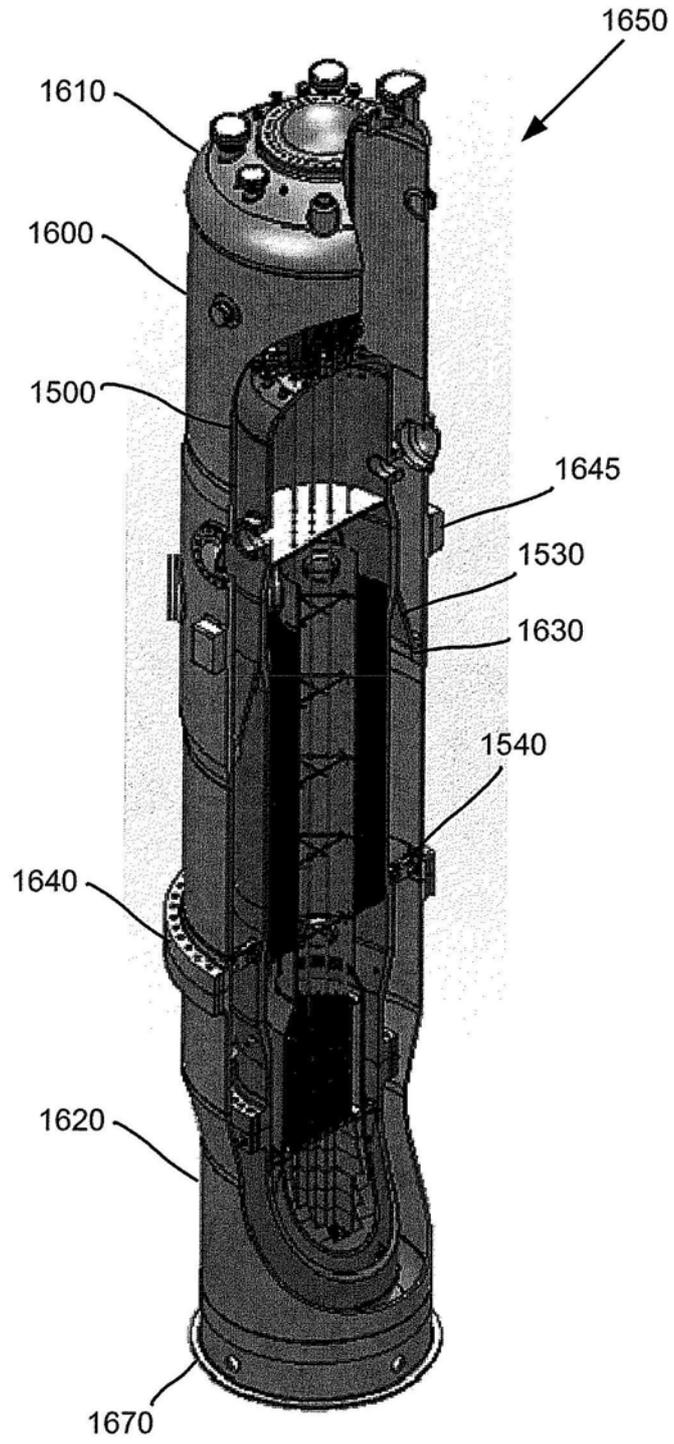


图16

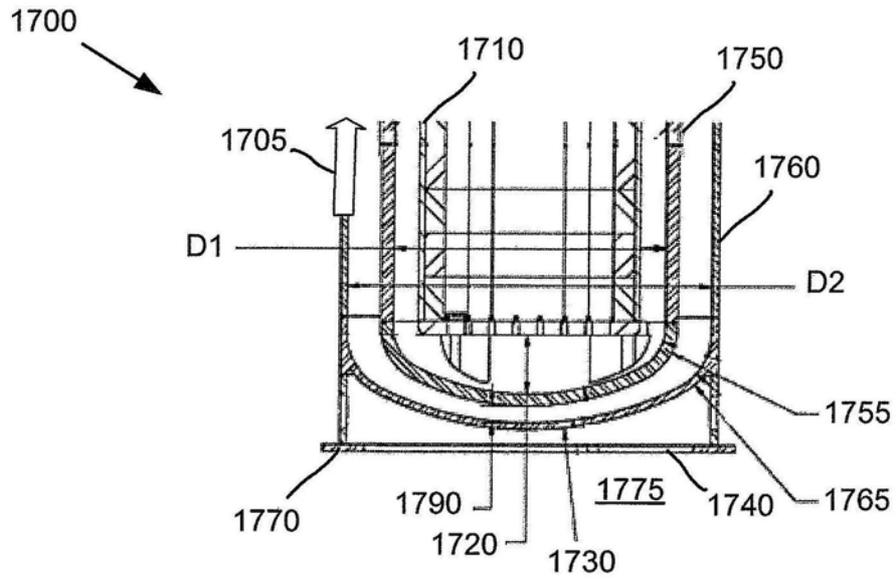


图17

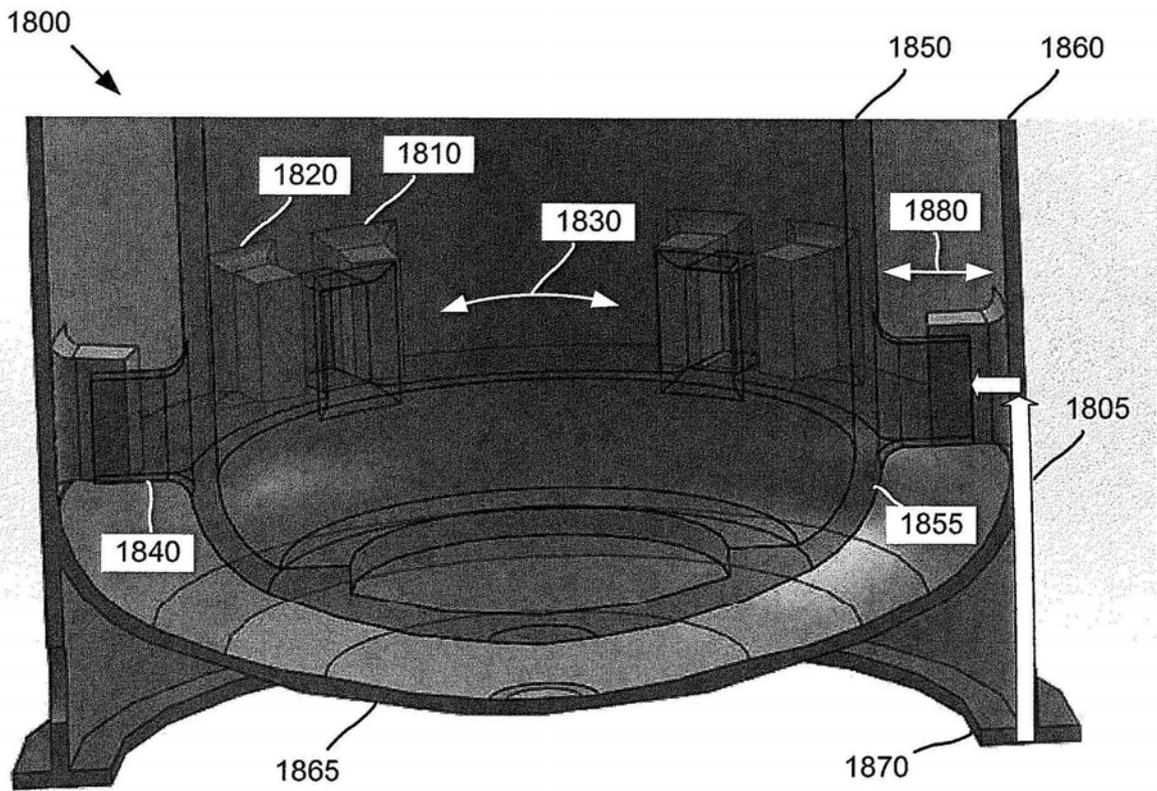


图18

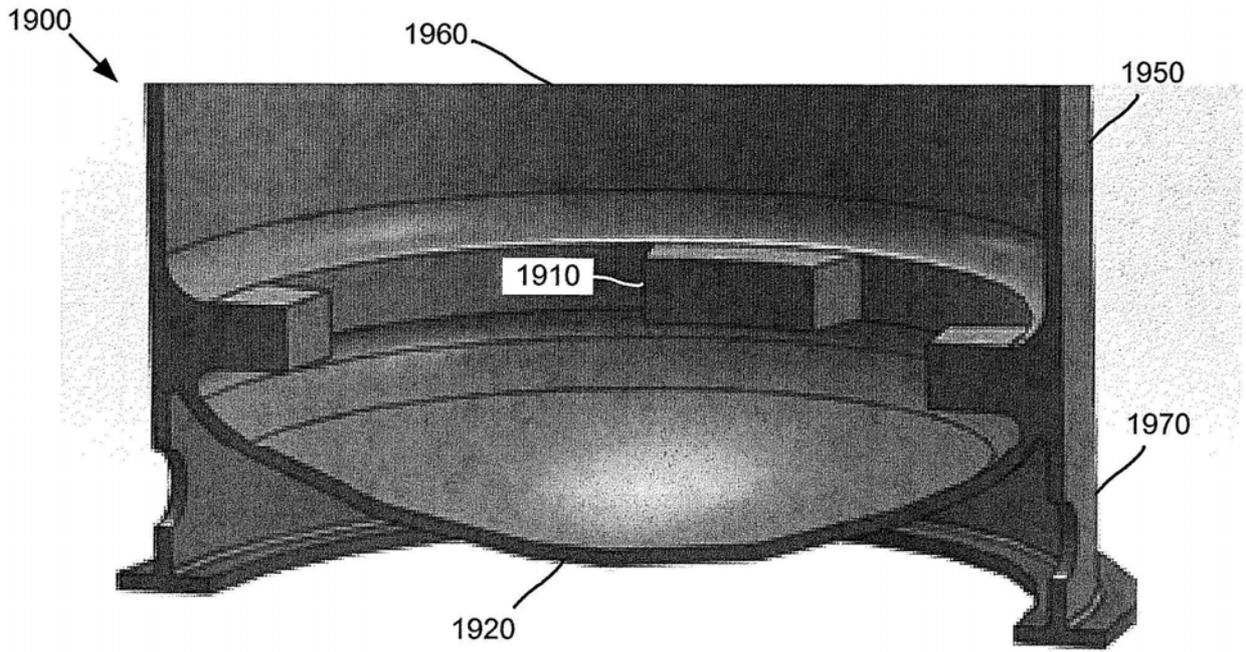


图19

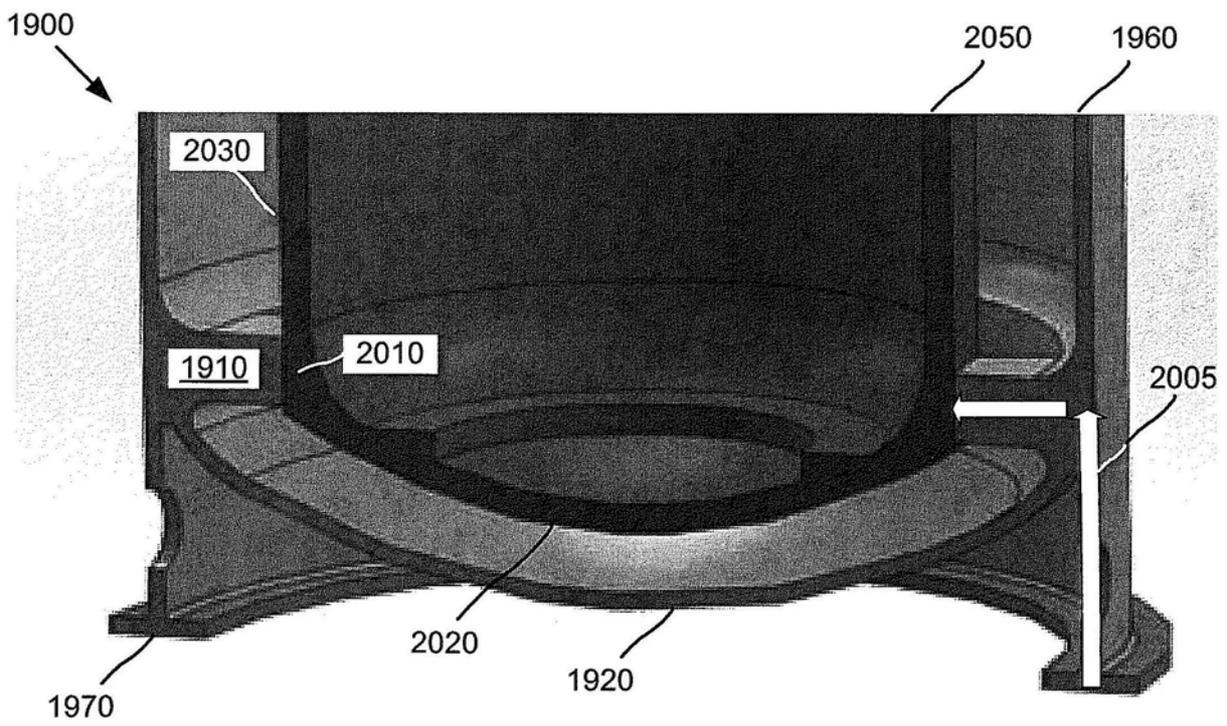


图20

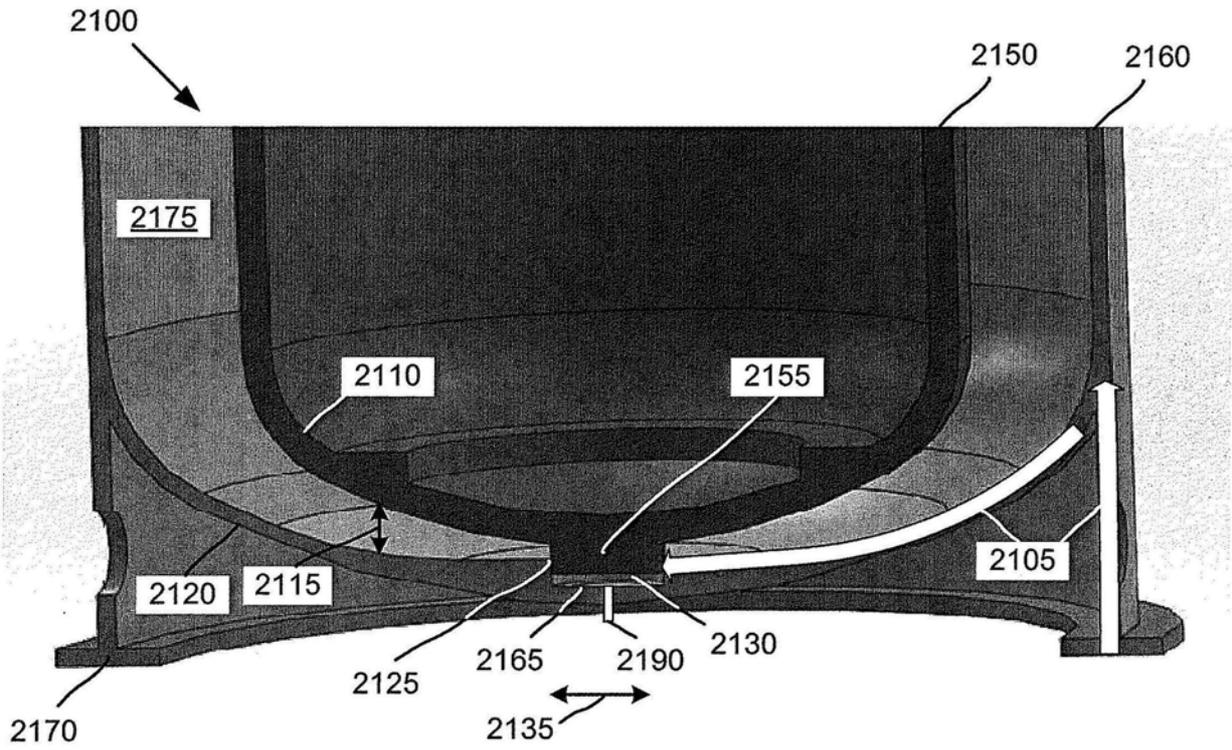


图21

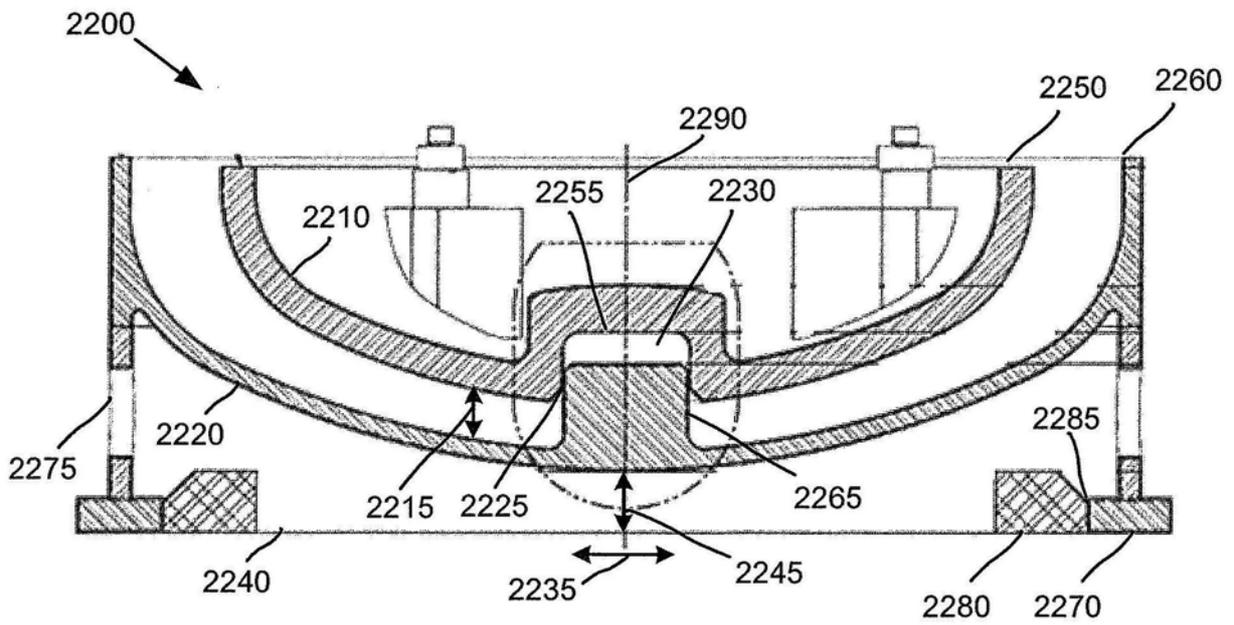


图22

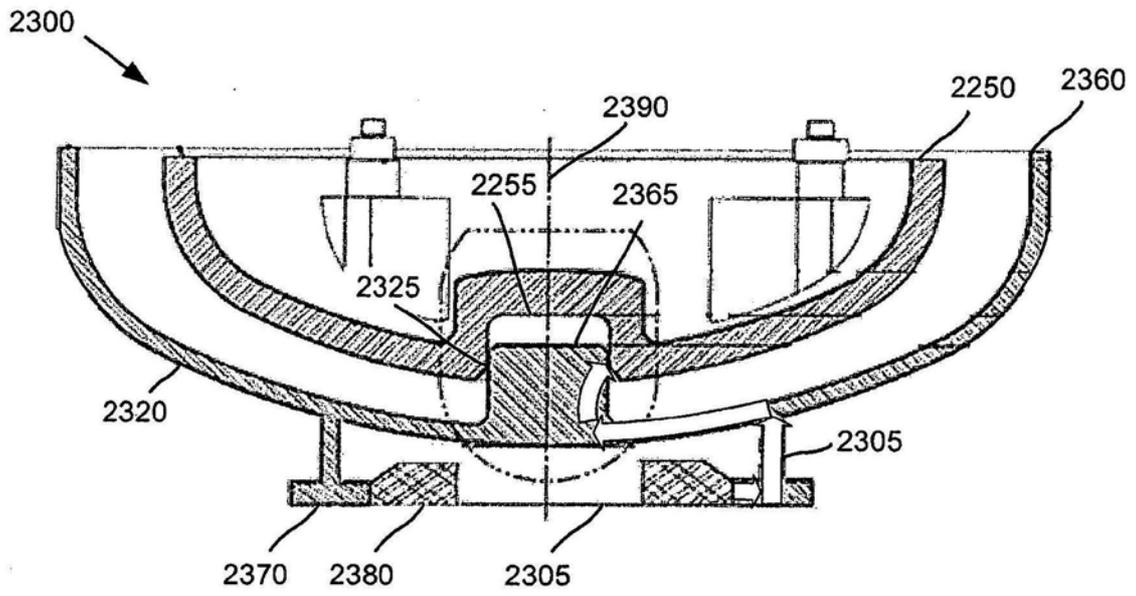


图23

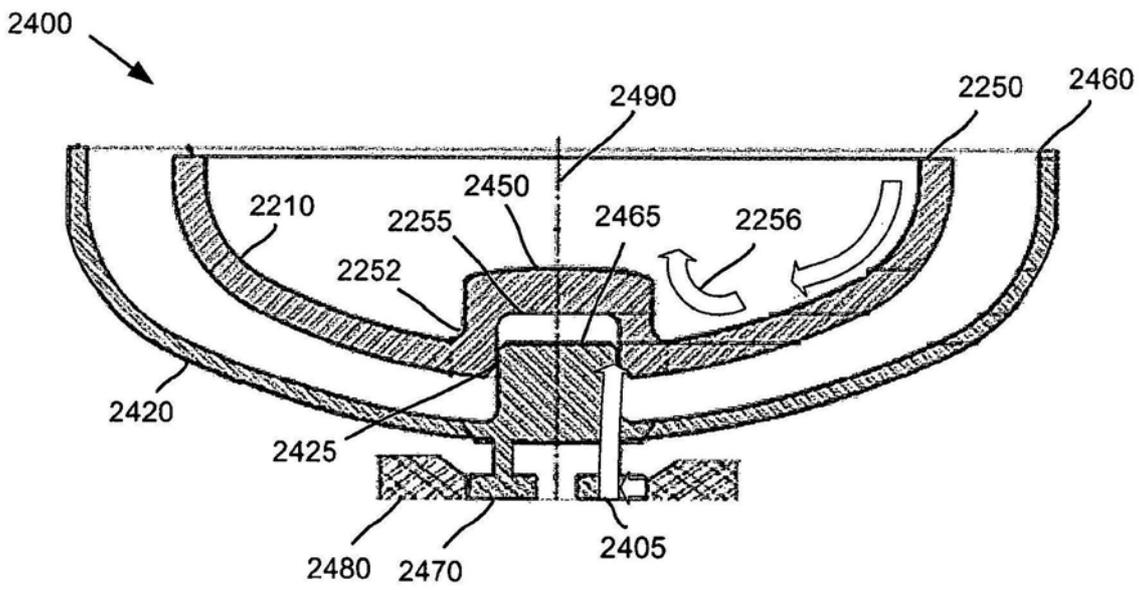


图24

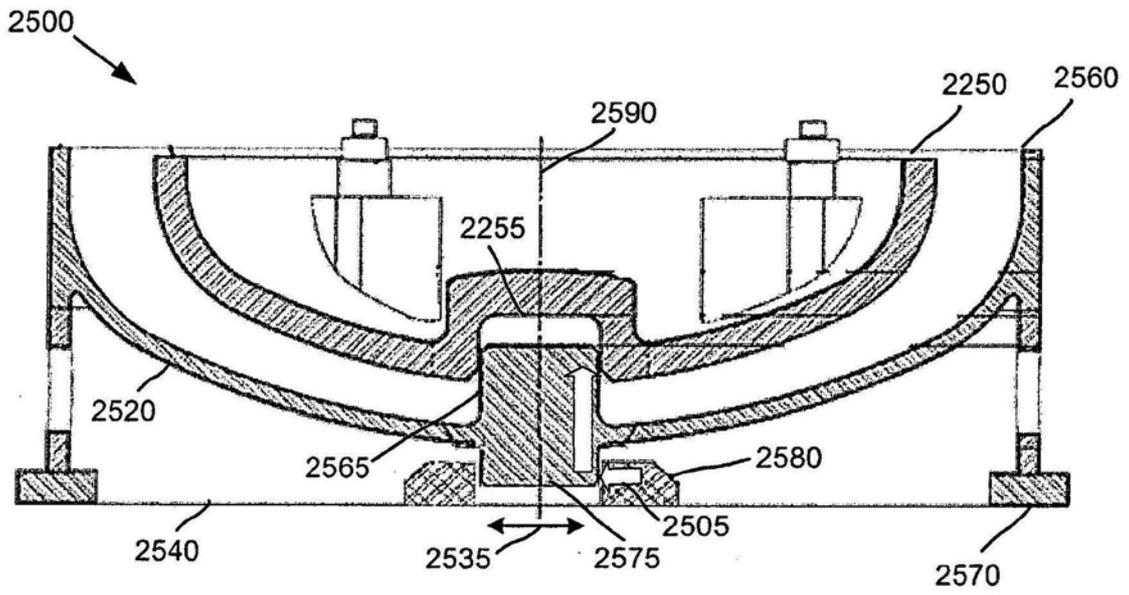


图25

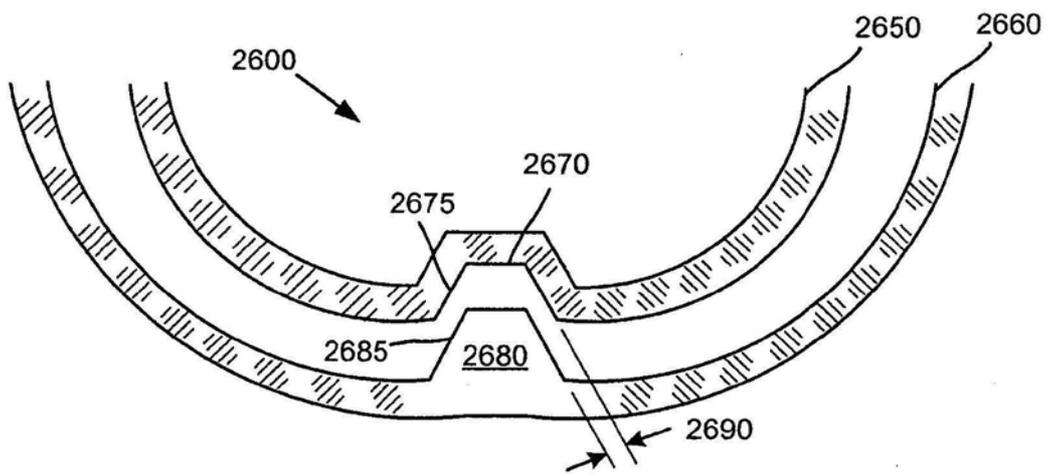


图26

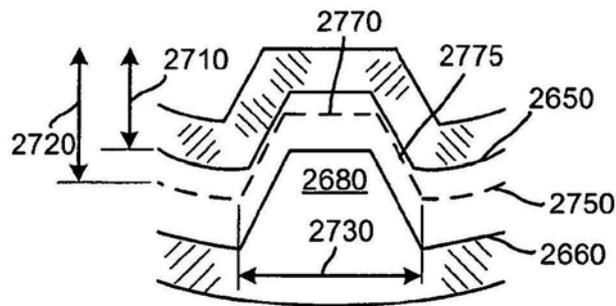


图27

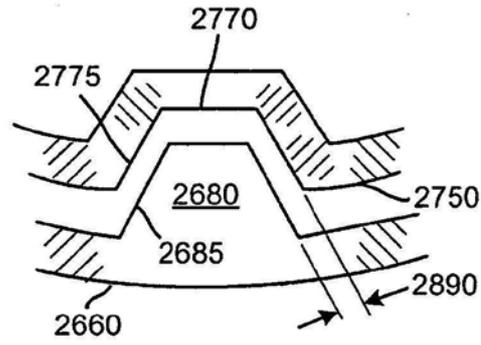


图28

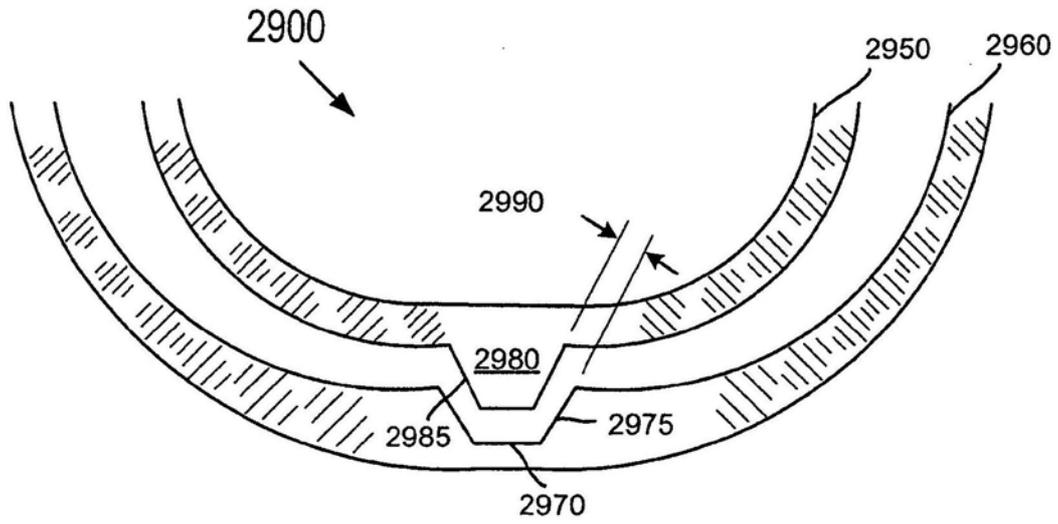


图29

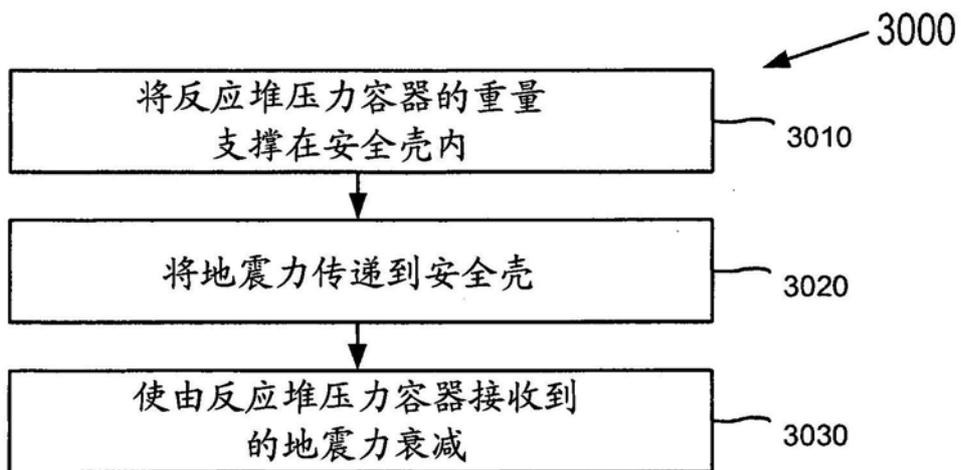


图30

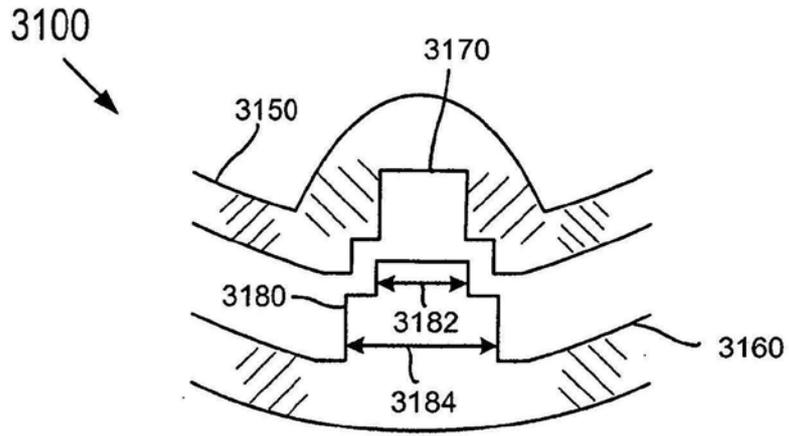


图31

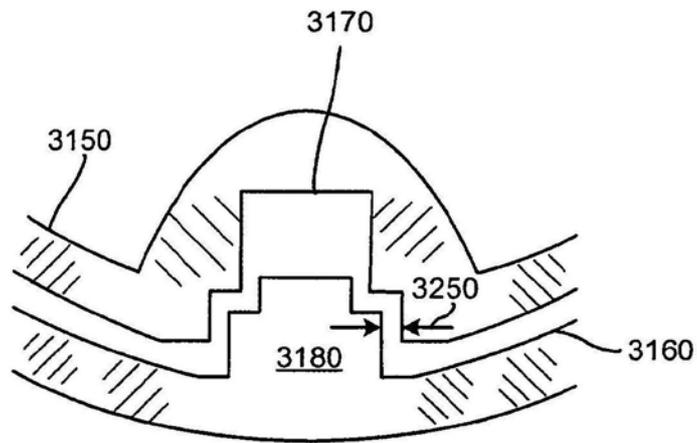


图32