



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103247354 A

(43) 申请公布日 2013. 08. 14

(21) 申请号 201210557290. 0

(22) 申请日 2012. 12. 19

(30) 优先权数据

13/364, 769 2012. 02. 02 US

(71) 申请人 巴布科克和威尔科克斯核能股份有限公司

地址 美国弗吉尼亚州

(72) 发明人 L·A·沃尔顿 G·S·帕比斯
A·W·多恩 J·G·哈特梅克尔

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

代理人 浦易文

(51) Int. Cl.

G21C 3/356 (2006. 01)

G21C 3/344 (2006. 01)

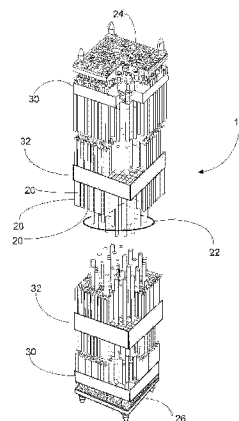
权利要求书3页 说明书9页 附图11页

(54) 发明名称

定位格架

(57) 摘要

定位格架包括互锁条带,互锁条带包括焊接在一起的金属片或板,以限定具有顶部和底部的定位格架。互锁条带限定多个栅元,这些栅元包括连接定位格架的顶部和底部的垂直通道。栅元包括:上凸起,该上凸起在定位格架的顶部近侧,并在定位格架的中间平面的远侧;下凸起,该下凸起在定位格架的底部近侧,并在定位格架的中间平面的远侧;悬臂上弹簧,该悬臂上弹簧具有在定位格架的顶部近侧以及在定位格架的中间平面远侧的燃料棒配合面;以及悬臂下弹簧,该悬臂下弹簧具有在定位格架的底部近侧以及在定位格架的中间平面远侧的燃料棒配合面。



1. 一种燃料组件,包括:

包括裂变材料的燃料棒束;以及

定位格架,所述定位格架将所述燃料棒束固定在一起,所述定位格架具有顶部和底部,并包括多个栅元,所述多个栅元包括从所述定位格架的所述顶部到所述底部的通道,燃料棒穿过所述通道,所述栅元包括:

上凸起,所述上凸起设置在所述定位格架的所述顶部近侧,并在所述定位格架的中间平面远侧,

下凸起,所述下凸起设置在所述定位格架的所述底部近侧,并在所述定位格架的中间平面远侧,

上悬臂弹簧,所述上悬臂弹簧具有位于所述定位格架的所述中间平面上方的悬臂自由端,以及

下悬臂弹簧,所述下悬臂弹簧具有位于所述定位格架的所述中间平面下方的悬臂自由端,

其中,每个栅元的所述上悬臂弹簧抵靠所述栅元的所述上凸起偏置穿过所述栅元的所述燃料棒,而每个栅元的所述下悬臂弹簧抵靠所述栅元的所述下凸起偏置穿过所述栅元的所述燃料棒。

2. 如权利要求 1 所述的燃料组件,其特征在于,所述定位格架是中间格架,且所述燃料组件还包括:

端部格架,所述端部格架将所述燃料棒束进一步固定在一起,每个端部格架比所述中间格架更接近于所述燃料棒束的端部,每个端部格架具有顶部和底部,并包括多个敞开的栅元,燃料棒经所述开口栅元从顶部穿到底部,所述栅元包括:

上凸起,所述上凸起设置在所述端部格架的所述顶部近侧,并在所述端部格架的中间平面远侧,

下凸起,所述下凸起设置在所述端部格架的所述底部近侧,并在所述端部格架的中间平面远侧,

上悬臂弹簧,所述上悬臂弹簧具有位于所述定位格架的所述中间平面上方的悬臂自由端,以及

下悬臂弹簧,所述下悬臂弹簧具有位于所述定位格架的所述中间平面下方的悬臂自由端。

3. 如权利要求 2 所述的燃料组件,其特征在于:

所述上和下悬臂弹簧的所述悬臂自由端包括顶部平坦的拱顶,以及

所述中间格架的所述上悬臂弹簧和下悬臂弹簧的所述悬臂自由端包括钩部。

4. 如权利要求 3 所述的燃料组件,其特征在于:

端部定位格架包括互锁的镍铬合金条带;以及

所述中间格架包括互锁的锆合金条带。

5. 如权利要求 1 所述的燃料组件,其特征在于,所述上凸起延伸到所述定位格架的所述顶部,而下凸起延伸到所述定位格架的所述底部。

6. 如权利要求 5 所述的燃料组件,其特征在于,所述上悬臂弹簧不包括所述定位格架的所述中间平面的任何部分,且所述下悬臂弹簧不包括所述定位格架的所述中间平面的任

何部分。

7. 如权利要求 1 所述的燃料组件,其特征在于,所述定位格架包括互锁条带,所述互锁条带包括金属片或板,且所述定位格架的最外侧条带不包括上悬臂弹簧,并且不包括下悬臂弹簧。

8. 如权利要求 1 所述的燃料组件,其特征在于,所述上和下凸起朝向所述定位格架的中心面向内,而所述上悬臂弹簧和下悬臂弹簧远离所述定位格架的中心面向外。

9. 如权利要求 1 所述的燃料组件,其特征在于,所述上悬臂弹簧和下悬臂弹簧的所述悬臂自由端成对设置,且所述上凸起和下凸起成对设置,以共同地限定燃料棒偏置系统,所述燃料棒偏置系统关于所述定位格架的所述中间平面对称。

10. 如权利要求 1 所述的燃料组件,其特征在于,所述燃料棒束在横向于所述燃料棒的平面内具有矩形、正方形和六边形对称中的一种对称。

11. 一种定位格架,包括:

互锁条带,所述互锁条带包括焊接在一起的金属片或板,以限定具有顶部和底部的定位格架,所述互锁条带限定多个栅元,所述栅元包括连接所述定位格架的所述顶部和底部的垂直通道,所述栅元包括:

上凸起,所述上凸起设置在所述定位格架的所述顶部近侧,并在所述定位格架的中间平面远侧,

下凸起,所述下凸起设置在所述定位格架的所述底部近侧,并在所述定位格架的中间平面远侧,

悬臂上弹簧,所述悬臂上弹簧具有设置在所述定位格架的所述顶部近侧、以及在所述定位格架的中间平面远侧的燃料棒配合面,以及

悬臂下弹簧,所述悬臂下弹簧具有设置在所述定位格架的所述底部近侧、以及在所述定位格架的中间平面远侧的燃料棒配合面。

12. 如权利要求 11 所述的定位格架,其特征在于,

所述悬臂上弹簧具有在所述定位格架的所述中间平面近侧、以及在所述定位格架的所述顶部远侧的悬臂锚定部,以及

所述悬臂下弹簧具有在所述定位格架的所述中间平面近侧、以及在所述定位格架的所述底部远侧的悬臂锚定部。

13. 如权利要求 11 所述的定位格架,其特征在于,

所述上悬臂弹簧具有位于所述定位格架的所述中间平面处或下方的悬臂锚定部,以及所述上悬臂弹簧具有位于所述定位格架的所述中间平面处或上方的悬臂锚定部。

14. 如权利要求 11 所述的定位格架,其特征在于,所述悬臂上弹簧和悬臂下弹簧的燃料棒配合面包括顶部平坦的拱顶。

15. 如权利要求 11 所述的定位格架,其特征在于,所述悬臂上弹簧和悬臂下弹簧的燃料棒配合面包括钩部。

16. 如权利要求 11 所述的定位格架,其特征在于,所述互锁条带的最外侧条带不包括悬臂上弹簧,且不包括悬臂下弹簧。

17. 如权利要求 16 所述的定位格架,其特征在于,所述互锁条带的所述最外侧条带具有与所述互锁条带的其它条带相同的厚度,且所述最外侧条带不包括加强元件。

18. 如权利要求 11 所述的定位格架,其特征在于,所述上凸起和下凸起朝向所述定位格架的中心面向内,而上弹簧和下弹簧远离所述定位格架的中心面向外。

19. 如权利要求 11 所述的定位格架,其特征在于,构造成接纳燃料棒的每个栅元包括:
具有上凸起和下凸起的第一栅元限定壁;

具有上凸起和下凸起的第二栅元限定壁;

第三栅元限定壁,所述第三栅元限定壁与所述第一栅元限定壁相反并面向所述第一栅元限定壁,其中,所述第三限定壁具有上弹簧和下弹簧;以及

第四栅元限定壁,所述第四栅元限定壁与所述第二栅元限定壁相反并面向所述第二栅元限定壁,其中,所述第三限定壁具有上弹簧和下弹簧。

20. 如权利要求 19 所述的定位格架,其特征在于,所述第一和第二栅元限定壁面向所述定位格架的中心,而所述第三和第四栅元限定壁背向所述定位格架的中心。

21. 一种定位格架,包括:

互锁条带,所述互锁条带包括焊接在一起的金属片或板,以限定具有顶部和底部的定位格架,所述互锁条带限定多个栅元,所述栅元包括连接所述定位格架的所述顶部和底部的垂直通道;以及

燃料棒保持系统,所述燃料棒保持系统包括从所述栅元的壁突出的成组的凸起和从所述栅元的壁突出的成组的弹簧,所述成组的凸起不包括构造成在所述定位格架的所述中间平面处与燃料棒接触的任何凸起,且所述成组的弹簧不包括构造成在所述定位格架的所述中间平面处与燃料棒接触的任何弹簧。

22. 如权利要求 21 所述的定位格架,其特征在于,所述成组的凸起包括:

成组的上凸起,所述成组的上凸起构造成与所述定位格架的所述中间平面上方的燃料棒接触;以及

成组的下凸起,所述成组的下凸起构造成与所述定位格架的所述中间平面下方的燃料棒接触。

23. 如权利要求 22 所述的定位格架,其特征在于,所述成组的弹簧包括:

成组的上弹簧,所述成组的上弹簧构造成与所述定位格架的所述中间平面上方的燃料棒接触;以及

成组的下弹簧,所述成组的下弹簧构造成与所述定位格架的所述中间平面下方的燃料棒接触。

24. 一种燃料组件,包括:

包括裂变材料的燃料棒束;以及

将所述燃料棒束固定在一起的、如权利要求 21 所述的定位格架,其中:

成组的凸起不包括在所述定位格架的所述中间平面处与燃料棒接触的任何凸起,以及成组的弹簧不包括在所述定位格架的所述中间平面处与燃料棒接触的任何凸起。

定位格架

技术领域

[0001] 以下涉及核反应堆技术、燃料组件构造技术以及相关技术。

背景技术

[0002] 参照图 1, 压水反应堆 (PWR) 类型的核反应堆包括压力容器 10, 该压力容器包含诸如主冷却水的主冷却剂。示例性的压力容器 10 是圆筒形压力容器 (其中, “圆筒形” 意在包含与数学上精确圆筒形的偏差, 诸如示例性的圆筒形压力容器 10 的示例性非均匀直径, 包括容器贯穿件或其它局部特征等)。核反应堆堆芯 12 布置在压力容器 10 的底部处或附近。(注意到在示意的图 1 中, 压力容器 10 如由虚线绘制的“开口”所表示地被部分地切去, 以显露出设置在内部的反应堆堆芯 12。此外, 示意的图 1 省去了诸如堆芯篮之类的安装特征, 通常设置这些安装特征以将反应堆堆芯 12 固定到压力容器 10 内)。尽管借助示例性的示例在图 1 中示出 PWR, 但应理解到文中公开的定位格架适于用在各种类型的核反应堆中, 诸如 PWR、沸水反应堆 (BWR) 等。

[0003] 核反应堆堆芯 12 通常包括以稠密栅列设置的多个燃料组件。燃料组件包括垂直定向的燃料棒束, 每根燃料棒包括诸如 ^{235}U 的裂变材料。例如, 每根燃料棒可包括浓缩的二氧化铀 (UO_2) 或混合的 $\text{UO}_2/\text{氧化钆}$ ($\text{UO}_2\text{Gd}_2\text{O}_3$) 芯块。散布在燃料棒之间的是引导管, 这些引导管为控制棒、仪器设备等提供导管。燃料组件的顶部止于上端配件或管座 (nozzle), 而燃料组件的底部止于下端配件或管座。燃料组件通过多个定位格架保持在一起, 这些定位格架包括设置在燃料组件的顶部和底部的端部格架和设置在燃料组件的顶部和底部之间的隔开位置的一个 (通常) 或多个中间格架。

[0004] 传统的定位格架通过将由板金制成的正交定向的金属条带互锁以形成正方形或矩形空间的二维格架来形成, 也被称为格架“栅元”, 每个栅元由四个条带限定。替代地, 可采用六边形结构, 其中, 每个栅元大体六边形, 并由六个条带来限定。在采用正方形栅元来接纳燃料棒的一种合适方法中, 限定每个栅元的条带部具有由形成栅元的两个相邻壁的格架条带构成两个凸起。每一对凸起中的一个凸起位于格架条带的顶部附近, 而另一个凸起位于格架条带的底部附近。栅元的相对壁均包含单个弹簧, 该弹簧可由构成栅元壁的条带构成, 或者可以是由不同材料制成的插入件, 通过由构成栅元壁的条带构成的特征来机械地限制或约束该插入件。弹簧位于定位格架的中间平面处或附近, 并且尺寸设计成当燃料棒插入格架栅元时出现干涉状况。这种干涉造成弹簧朝它们所在的栅元壁向后偏转, 从而抵靠相对的凸起对、沿两个正交方向对燃料棒预加载, 并将燃料棒夹持在位。弹簧的作用平面和凸起的作用平面之间的轴向偏差形成回复力矩, 如果向任何两个轴向相邻的定位格架之间的燃料棒施加侧向力, 则这些回复力矩致使燃料棒在定位格架处的局部垂直定向保持相对固定。在一些方法中, 每个弹簧在沿弹簧回转面的水平或垂直折起部的长度的两个位置与其燃料棒接触。如果燃料棒在使用时由于流动引发的振动而摆动, 有时, 还设有局部平坦部和 / 或次级拱形部, 以分散任何磨损。传统的定位格架中的条带通常定向成在给定栅元内的弹簧位于栅元的外侧壁上, 而凸起位于栅元的内侧壁上。这种结构的优点在于提供

一种抵抗任何向内作用的力的刚性基座,如果燃料组件在处理过程中与相邻的燃料组件或其它相邻结构接触,则这种力会施加于外排的燃料棒。

发明内容

[0005] 在本发明的一方面,燃料组件包括包含裂变材料的燃料棒束以及将燃料棒束固定在一起的定位格架。定位格架具有顶部和底部,并包括多个栅元,这些栅元包括从定位格架的顶部到底部的通道,燃料棒穿过这些通道。栅元包括:上凸起,上凸起设置在定位格架的顶部近侧,并在定位格架的中间平面远侧;下凸起,下凸起设置在定位格架的底部近侧,并在定位格架的中间平面远侧;上悬臂弹簧,上悬臂弹簧具有位于定位格架的中间平面上方的悬臂自由端;以及下悬臂弹簧,下悬臂弹簧具有位于定位格架的中间平面下方的悬臂自由端。每个栅元的上悬臂弹簧抵靠栅元的上凸起偏置穿过栅元的燃料棒,而每个栅元的下悬臂弹簧抵靠栅元的下凸起偏置穿过栅元的燃料棒。

[0006] 在如之前段落中阐释的一些燃料组件实施例,定位格架包括互锁条带,这些条带包括金属片或板,且定位格架的最外侧条带不包括上悬臂弹簧,且不包括下悬臂弹簧。在如之前段落中阐释的一些燃料组件实施例,上凸起和下凸起朝向定位格架的中心面向内,而上和下悬臂弹簧远离定位格架的中心面向外。在如之前段落中阐释的一些燃料组件实施例,上凸起延伸到定位格架的顶部,而下凸起延伸到定位格架的底部。

[0007] 在本发明的另一方面,定位格架包括互锁条带,互锁条带包括焊接在一起的金属片或板,以限定具有顶部和底部的定位格架。互锁条带限定多个栅元,这些栅元包括连接定位格架的顶部和底部的垂直通道。栅元包括:上凸起,上凸起设置在定位格架的顶部近侧,并在定位格架的中间平面远侧;下凸起,下凸起设置在定位格架的底部近侧,并在定位格架的中间平面远侧;悬臂上弹簧,悬臂上弹簧具有设置在定位格架的顶部近侧以及在定位格架的中间平面远侧的燃料棒配合面;以及悬臂下弹簧,悬臂下弹簧具有设置在定位格架的底部近侧以及在定位格架的中间平面的远侧的燃料棒配合面。

[0008] 在如之前段落中阐释的一些定位格架实施例,悬臂上弹簧在定位格架的中间平面近侧以及在定位格架的顶部远侧的悬臂锚定部,以及悬臂下弹簧具有在定位格架的中间平面近侧以及在定位格架的顶部远侧的悬臂锚定部。在如之前段落中阐释的一些定位格架实施例,悬臂上弹簧具有在定位格架的中间平面近侧以及在定位格架的顶部远侧的悬臂锚定部,以及悬臂下弹簧具有在定位格架的中间平面近侧以及在定位格架的顶部远侧的悬臂锚定部。在如之前段落中阐释的一些定位格架实施例,悬臂上和下弹簧的燃料棒配合面包括顶部平坦的拱顶。在如之前段落中阐释的一些定位格架实施例,互锁条带的最外侧条带不包括悬臂上弹簧,并且不包括悬臂下弹簧。

[0009] 在如之前段落中阐释的一些定位格架实施例,成组的凸起包括成组的上凸起,该组上凸起构造成与定位格架的中间平面上方的燃料棒接触;以及成组的下凸起,该组下凸起构造成与定位格架的中间平面下方的燃料棒接触,且成组的弹簧包括成组的上弹簧,该组上弹簧构造成在定位格架的中间平面上方与燃料棒接触;以及成组的下弹簧,该组下弹簧构造成在定位格架的中间平面下方与燃料棒接触。

[0010] 在本发明的又一方面,定位格架包括:互锁条带,互锁条带包括焊接在一起的金属片或板,以限定具有顶部和底部的定位格架,互锁条带限定多个栅元,栅元包括连接定位格

架的顶部和底部的垂直通道;以及燃料棒保持系统,该燃料棒保持系统包括从栅元壁突出的成组的凸起和从栅元壁突出的成组的弹簧。该组凸起不包括在定位格架的中间平面处与燃料棒接触的任何凸起。该组弹簧不包括构造在定位格架的中间平面处与燃料棒接触的任何弹簧。

附图说明

[0011] 本发明可采用各种部件和部件的组合,以及各种工艺操作和工艺操作的组合。附图仅是为了示出较佳实施例的目的,而不应解释为限制本发明。

[0012] 图 1 示意地示出根据现有技术的压水反应堆(PWR)的侧剖图。

[0013] 图 2 示意地示出采用如文中公开的定位格架的单个燃料组件的分解图。

[0014] 图 3 示意地示出经制造以形成定位格架的条带的金属片或板,其中,绘出切去部的弹簧已形成于金属片或板内。

[0015] 图 4 示意地示出由图 3 的金属片或板构成的条带。

[0016] 图 5 示意地示出图 4 中指示的截面 A-A。

[0017] 图 6 和 7 示出第一定位格架实施例。图 6 示意地示出针对该定位格架实施例的、沿一个方向的条带的结构。图 7 示出定位格架实施例的立体图。

[0018] 图 8 和 9 示出第二定位格架实施例。图 8 示意地示出针对该定位格架实施例的、沿一个方向的条带的结构。图 9 示出定位格架实施例的立体图。

[0019] 图 10-12 示出第三定位格架实施例。图 10 示出定位格架实施例的立体图。图 11 示出定位格架实施例的内条带的平面图。图 12 示出定位格架实施例的最外侧条带的平面图。

[0020] 图 13-15 示出端部格架实施例。图 13 示出端部格架的一个角部的立体图,该图移除了最靠角落的栅元(单元格)以显露出内部部件。图 14 示出水平定向的凸起中的一个凸起的示意立体图。图 15 示出端部格架的上/下弹簧的示意侧视图。

[0021] 图 16-18 示出中间格架实施例。图 16 示出中间格架的一个角部的立体图,该图移除了最靠角落的单元格以露出内部部件。图 17 示出设置在中间格栅的最外侧条带上的垂直定向凸起中的一个凸起的示意立体图。图 18 示出中间格架的上/下弹簧的示意侧视图。

[0022] 图 19 和 20 示出用于上和下悬臂弹簧的两个替代的几何形状。

具体实施方式

[0023] 如前所述,在传统的定位格架中,弹簧(即,软止挡件)的作用平面和凸起(即,硬止挡件)的作用平面之间的轴向偏差形成回复力矩,如果向任两个轴向相邻的定位格架之间的燃料棒施加侧向力,则回复力矩有利地使燃料棒在定位格架处的局部垂直定向保持相对固定。然而,在此认识到作用平面的这种偏差还会在每个定位格架处引起弯曲力矩,该弯曲力矩使燃料棒在任两个轴向相邻的定位格架之间的跨度内弯起。尽管这种初始弯起是可忍受的,但这种弯起会通过运行期间由辐射引起的蠕变效应而加强,从而导致相邻的冷却剂通道的、成问题的局部或完全关闭,以及随之发生的局部升温。

[0024] 弹簧和凸起的常见定向(即,在给定栅元中,弹簧位于外侧壁上、而凸起位于内侧壁上)有利地便于抵抗会施加于外排的燃料棒的向内作用的力。然而,这种结构将弹簧放置

于定位格架的最外侧条带上,这大幅弱化最外侧条带。这会不利地影响整个定位格架结构的强度。已知通过采用与内条带相比较厚的外条带和/或经由向最外侧条带增加加强肋和其它机械特征来至少部分地弥补这个弱点。然而,这些方法会造成,与内条带的弹簧相比,最外侧条带的弹簧具有不同(通常较大的)弹簧系数,这加强了对于燃料组件的最外侧燃料棒的燃料棒弯起效应,并会造成燃料棒阵列的最外一排中过度的在用燃料棒弯起。

[0025] 在定位格架的中间平面处或附近的弹簧的集中定位在此也被认为会造成问题。如果弹簧的若干折起部垂直定向,倘若由于制造误差而存在燃料棒的任何不对准的话,则每个弹簧将实际上仅在一个位点处与燃料棒接触。这会消除分散接触面的期望益处,并会造成较高的局部承载应力,如果燃料棒在使用时振动,这些应力会潜在地造成快速局部磨损。垂直定向的折起部还在加载燃料棒期间存在问题,这是因为它们会造成过度刮擦包层和/或燃料棒卡住和格架损坏。通常,对弹簧接点的前缘和后缘应用精压操作,以改善这些问题,但益处是有限的。

[0026] 另一方面,如果折起部水平定向,则上游和下游弹簧表面通常提供适当的引入,因此较少担心包层刮擦和燃料棒卡住。然而,这种定向造成更多局部流道阻塞,这从热液观点看是不期望的。

[0027] 文中公开了一种双悬臂弹簧结构,该结构使弹簧和燃料棒之间的接触表面远离定位格架的中间平面、并因此朝向分别定位在格架条带的顶部和底部附近的近侧凸起运动。与对应的弹簧(即,软止挡件)的作用平面和相对的凸起(即,硬止挡件)产生的大致对准结合的双悬臂构造大大减小了引发的燃料棒弯起。悬臂弹簧还可构造有较小刚度(即,低弹簧系数)。一些公开的实施例还将弹簧放置于栅元的内侧壁上(弹簧面向外),而凸起位于外侧壁上(并面向内)。此定向取消了最外侧条带上的弹簧切去部,这在侧向冲击期间大大加强了定位格架。

[0028] 参照图 2,以局部剖开示意地示出代表性的燃料组件 14,并且切去立体图的前顶角部,以显露出内部部件。燃料组件 14 适当地用作为设置在图 1 的压力容器 10 内的核反应堆堆芯 12 的元件。燃料组件 14 包括垂直定向的燃料棒 20 的阵列,每根燃料棒都包括诸如 ^{235}U 的裂变材料。例如,每根燃料棒可包括浓缩的二氧化铀(UO_2)或混合的 $\text{UO}_2/\text{氧化钆}(\text{UO}_2\text{Gd}_2\text{O}_3)$ 颗粒。散布在燃料棒 20 之间的是引导管 22,这些引导管为控制棒、仪器设备等提供导管。燃料组件 14 的顶部止于上端配件或管座 24,而燃料组件的底部止于下端配件或管座 26。

[0029] 燃料组件 14 通过多个定位格架保持在一起,定位格架包括设置在燃料组件 14 的顶部和底部的端部格架 30 和设置在燃料组件 14 的顶部和底部之间的隔开位置的一个(通常)或多个中间格架 32。(换言之,每个端部定位格架 30 比中间格架 32 更靠近于燃料棒束 20 的端部)。示例性的图 2 仅示出两个中间格架 32,但通常还存在附加的中间格架(在剖切视图中略去)。中间格架的数目和端部格架与中间格架沿燃料组件的高度的间距基于燃料棒束的总长度、一束中燃料棒的总数、燃料棒的结构特征、可应用的管理规定等来确定。

[0030] 参照图 3-7,示意地示出示例性的定位格架。图 3 示出用于限定弹簧的、具有切去部 42 的金属片或板 40。金属片或板 40 可例如通过诸如轧制之类合适的金属加工技术来形成。金属可以是镍铬合金(例如,因科镍合金)或锆合金(例如,石勒喀(Zircaloy))。因科镍合金比石勒喀强度大;然而,石勒喀与因科镍合金相比中子吸收横截面较小。因此,在一

些实施例中,端部格架 30 由因科镍合金制成,而中间格架 32 由石勒喀制成。切去部 42 包括金属片或板的被去除的部分,并可通过机械切割、激光切割等来制成。切去部 42 限定用于弹簧的“模板”。图 4 和 5 分别示出内条带 44 的平面图和侧视图,该内条带具有:上凸起 50;下凸起 52;上弹簧 60;以及下弹簧 62。这些凸起 50、52 和弹簧 60、62 通过采用压力机或其它钣金成型设备对片或板进行适当变形来制成。图 6 和 7 分别示出包括互锁条带 40 的定位格架的侧剖图和俯视图。如图 7 的俯视图中可见,条带沿两个正交方向设置,以形成单元格 70 的二维格架,燃料棒(由图 7 中示意示出的单个示例性燃料棒 20 表示)穿过该二维格架,并由凸起 50、52 以及弹簧 60、62 保持。(注意到在图 7 的俯视图中,仅由填充的球形盖表示的上凸起 50 和由敞开的球形盖表示的上弹簧 60 是可见的)。采用匹配的槽(未示出)来使条带互锁,这些槽在形成切去部 42 的同时形成到条带内。通常,组装夹具(未示出)用于在组装互锁结构期间暂时保持条带,而匹配的槽被焊接成沿刚性定位格架结构形成最终支座。

[0031] 特别参照图 6,所得的定位格架具有设有上特征件 50、60 的顶部和设有下特征件 52、62 的底部。定位格架的中间平面 66 位于定位格架的顶部和底部中间。特别参照图 5,弹簧 60、62 形成为悬臂弹簧。即,每个上弹簧 60 在定位格架的中间平面 66 处或上方锚定到定位格架,并具有朝向定位格架的顶部“向上”延伸的悬臂自由端;而每个下弹簧 62 在定位格架的中间平面 66 处或下方锚定到定位格架,并具有朝向定位格架的底部“向下”延伸的悬臂自由端。参照图 5,这产生包含上特征件 50、60 的上“格架平面”和包含下特征件 52、62 的下“格架平面”。(上格架平面在数学上并不精确,因为上凸起 50 的阵列并不与上弹簧 60 的阵列精确地共面,下格架平面亦如此)。弹簧 60、62 不在定位格架的中间平面 66 处与燃料棒 20 接触;而是上弹簧 60 在中间平面 66 上方并靠近上凸起 50 与燃料棒接触;并且相似地,下弹簧 62 在中间平面 66 下方并靠近下凸起 52 与燃料棒接触。

[0032] 双悬臂构造结合了对应的上弹簧 60 的作用平面与相对凸起 50 在上格架平面内产生的大致对准以及对应的下弹簧 62 的作用平面与相对凸起 52 在下格架平面内产生的大致对准,这种双悬臂构造大大减小引发的燃料棒弯起。悬臂弹簧 60、62 还能构造有较小刚度(即,较小的弹簧系数),该刚度通过悬臂的尺寸,例如宽度和长度,以及金属片或板的厚度和弹性(由切去部 42 的具体形状限定)来控制。由于存在两个弹簧 60、62,每个弹簧可具有与采用单个(较大刚度)弹簧的结构相比较小的刚度。

[0033] 特别参照图 6 和 7,除了内条带 44,还存在两个类型的“特殊”条带:形成定位格架的外边界的四个外条带 44_o ;以及在定位格架的中心处相交的两个中间条带 44_m 。在图 6 和 7 的示例性示例中,外条带 44_o 与内条带 44 的不同之处在于它们不包括弹簧 60、62。因此,切去部 42 (参见图 3)并不形到制成外条带 44_o 的金属片或板中,因此去除较少的金属。这加强了外条带 44_o 的强度,这又加强整个定位格架结构的强度。与用于外条带 44_o 的构造一致,并且如图 6 和 7 中所示,凸起 50、52 均设置在栅元 70 的外侧壁上,即,凸起面向“内”,而相对弹簧 60、62 均设置在栅元 70 的内侧壁上,即,凸起面向“外”。这种设计范例理想地将弹簧置于中间条带的相对两侧上。然而,如图 3-5 中所示,弹簧 60、62 通过以下方式形成,即,形成切去部 42,然后将余下金属变形到其所作用于的栅元 70 内。仅存在一个上臂和一个下臂,且因此两个弹簧 60、62 不能形成于同一片或板的相对两侧上(即,一个金属片或板不能形成总共四个这种弹簧)。在示例性的中间条带 44_m 中,这通过以下方式来解决,即,使

上和下弹簧 60、62 沿相反方向变形,以使上弹簧 60 作用于一个栅元(例如,图 6 的示例中的中间条带 44_M 左侧的栅元),而下弹簧 62 作用于另一个栅元(例如,图 6 的示例中的中间条带 44_M 右侧的栅元)。

[0034] 图 6 和 7 的中间条带 44_M 仅提供一个支承点(上弹簧 60 或下弹簧 62,而不是两个弹簧)。然而,燃料棒保持支承于七个点(四个凸起和三个弹簧)。四个中心栅元仅具有六个支承点;然而,在一些实施例中,这些栅元被中心引导管 72(图 7 中虚线所示)代替。更具体地,应理解到通常,栅元 70 中的一些或几组栅元 70 被未在图 7 中示出的引导管代替。这种引导管可用于各种目的,诸如提供用于控制棒的导管,用于器械设备的导管等。围绕引导管的条带部可选地不包括弹簧或凸起,省略围绕引导管的这些元件可加强定位格架的整体强度。在一些实施例中,围绕引导管(即,引导管“栅元”)的条带部包括鞍状特征件(未示出),这些鞍状特征件精确地定位引导管,而不产生相当大的夹持力。这些特殊栅元内的内部格架条带 44 的顶部和底部边缘上的一体凸片可选地用于在燃料组装和制造期间将定位格架持久地附连于控制棒引导管。可采用脉冲电弧焊、电阻焊接等来进行这种直接的机械连接。

[0035] 参照图 8 和 9,在替代的方法中,代替交替弹簧的中间条带 44_M 可使用设置在背对背构造下的两个全弹簧(无凸起)内条带 44_{M2}。这种结构提供用于由中间条带 44_{M2} 相接的栅元的全八个点(即,四个凸起和四个弹簧)接触(与图 6 和 7 的实施例中的仅七个或甚至六个支承点相比)。背对背的中间条带 44_{M2} 还预计对定位格架强度有一定加强。背对背的中间条带 44_{M2} 可使它们的背面直接接触,或可略微间隔开(如图 8 和 9 中所示)。

[0036] 中间条带的另一选择是具有双凸起(未示出)的中间条带,这可代替图 6 和 7 的中间条带 44_M 或图 8 和 9 的背对背中间条带 44_{M2}。两组凸起可由单个中间条带片或板制成,并具有与现有的内条带凸起相同的轮廓。这种方法避免图 8 和 9 的双中间条带 44_{M2} 的独特的条带制造模具和流动转向问题以及图 6 和 7 的中间条带 44_M 的局部支承问题。然而,这种方法需要将弹簧和凸起的定位反向,即,弹簧位于栅元的外侧壁上(弹簧面向内),而凸起将位于内侧壁上(并面向外)。这将弹簧放置于最外面的条带上,这预计会弱化定位格架,降低它的冲击强度,并使格架在燃料处理(装卸)期间更易于卡住和撕开。

[0037] 参照图 10-12,示出示例性的实施例,该实施例包括加强定位格架的结构强度的、最外侧条带 44_O 上的结构。为此,内部格架条带 44 在它们的外侧端部处包括联接片(角撑板) 80,这些联接片与设置在外条带 44_O 上的引入凸片 82 交界。在对燃料组件的任何侧向冲击期间,这些特征件 80、82 稳定内格架条带 44 的端部,这些侧向冲击诸如会在地震事件或装船期间发生。当一个燃料组件沿堆芯内的相邻燃料组件上提或下压时,这些特征件 80、82 还有助于在燃料处理期间支持外条带引入。与图 3-9 的实施例相同,在内条带 44 中,围绕每个栅元的条带部分别在顶部和底部边缘处包含凸起特征 50、52,这些凸起特征件围绕成对的垂直定向的悬臂弹簧特征件 60、62 将其夹在中间。

[0038] 参照图 13-18,示出可选地包含在凸起 50、52 和弹簧 60、62 上的一些特征。图 13 示出端部格架 30 的角部,其中,最靠角落的栅元被切去,以显露出限定移除的角部栅元的内条带部。图 14 示出凸起 50、52 中的水平定向的一个凸起的立体图。图 15 示出端部格架 30 的弹簧 60、62 的边缘轮廓。相似地,图 16 示出中间格架 32 的角部,其中,最靠角落的栅元被切去,以显露出限定移除的角部栅元的内条带部。图 17 示出在此情况下垂直定向的最外侧条带的凸起 502_V 的立体图。图 18 示出中间格架 32 的弹簧 60、62 的边缘轮廓。

[0039] 特别参照图 13-15, 凸起 50、52 水平定向(特别参见图 14)。悬臂弹簧特征件 60、62 由于悬臂结构而具有较大的弹性偏转范围。弹簧 60、62 形成有相对于垂直栅元壁 84(由图 15 中的垂直虚线示意地示出)的其余部分倾斜的主表面, 以形成与燃料棒的明显干涉。当燃料棒在制造期间插入定位格架时, 这些双弹簧特征件 60、62 朝向垂直栅元壁 84 向后弹性偏转, 从而产生夹持力, 该夹持力使燃料棒固定抵靠相对的凸起对 50、52。这种相同的夹持作用通过垂直栅元壁内的弹簧和凸起特征以围绕包层的 90° 位置同时致动。

[0040] 由于弹簧 60、62 上的燃料棒接触表面位于对应的上和下弹簧 60、62 的顶端和底端处, 栅元内的四个弹簧特征件在水平平面内抵靠于燃料棒包层, 这些水平平面与相对的凸起特征件 50、52 近乎共面。对于给定的弹性夹持力, 这种机械结构对燃料棒产生最大回复力矩(因为力矩臂在悬臂结构中最大化), 同时使会引发格架之间燃料棒弯起的局部弯曲力矩最小化(由于协作的凸起 / 弹簧结构共面)。

[0041] 一体的引入表面设置在凸起 50、52 和弹簧 60、62 的顶部和底部边缘处, 以在工厂中制造期间以及在现场燃料重构期间便于燃料棒插入。凸起 50、52 上的引入表面通过将以一角度静压成形的凸起 50、52 的顶部和底部边缘来形成。在图 13 和 15 的端部格架 30 中, 弹簧 60、62 上的引入表面包括三维的顶部平坦的拱顶 90。拱顶使在插入期间卡住燃料棒的可能性较小, 且拱顶的平坦顶部将包层磨损分散开。

[0042] 在图 13-18 的实施例中, 端部格架 30(图 13-15)适当地由因科镍合金制成, 而中间格架(图 16-18)适当地由石勒喀制成。因科镍合金是比石勒喀更易延展的材料, 但石勒喀对于中间格架 32 是较佳的, 因为它与因科镍合金相比中子吸收横截面更小。图 13-15 中所示的因科镍合金端部格架 30 采用顶部平坦的拱顶 90 作为用于弹簧 60、62 的引入表面 / 燃料棒配合表面。另一方面, 以更脆性的石勒喀材料形成这些顶部平坦的拱顶 90 的屈服(强度)预计较低, 这是因为当以三维成形时, 石勒喀片或板往往趋于撕裂或产生桔皮缺陷。

[0043] 由此, 在图 16-18 的石勒喀中间格架 32 中, 用于弹簧 60、62 的引入表面 / 燃料棒配合表面构造成较浅的两维钩部 92(特别参见图 16 和 18)。这些钩部 92 适当地通过以下方式来形成, 即弯曲弹簧 60、62 的自由端部, 以包括平坦棒配合部和便于引入的远侧“向后弯曲”部。在顶部平坦的拱顶 90 或钩部 92 的情况下, 这些引入特征与燃料棒的子弹状底部端塞形状结合起作用, 以减少在插入棒期间卡住的可能性。

[0044] 在图 13-18 的实施例中, 定位格架 30、32 的最外侧条带 44_0 又仅包含凸起, 而不包含弹簧。这种构造减少在形成最外侧条带 44_0 时切去的材料量。格架冲击性能受到最外侧条带的强度的明显影响, 且结构上稳定的较强最外侧条带对于实现较大侧向冲击强度来说是有利的。参照图 10-12 所述的引入特征件 80、82 以修改的形式包含到图 13-18 的实施例中。在这些图 13-18 的实施例中, 在内条带 44 上省去联接片 80, 且设置在最外侧条带 44_0 上的引入凸片 82 与内条带 44 的角部配合。在图 10-18 的所有实施例中, 这些配合起到加强功能。它们加大外条带 44_0 的有效惯性矩, 同时还有助于稳定内条带 44 的端部。

[0045] 在图 16-18 的中间格架 32 中, 最外侧条带 44_0 上的凸起修改成进一步加强这些最外侧条带 44_0 的强度。具体来说, 水平定向的凸起 50、52(参见, 例如图 13 和 15)被图 16-18 的中间格架 32 的最外侧条带 44_0 内的垂直定向的凸起 502_v 代替(特别参见图 16 和 17)。垂直定向的凸起 502_v 从压降的角度看不太有利。然而, 凸起 502_v 取消了沿最外侧条带 44_0 的长度的四条弱化线, 这些弱化线在水平定向凸起 50、52 的情况下存在。在中间格架 32 的情

况下使用垂直定向的凸起 50_v 是适应于石勒喀构造材料的低强度。端部格架 30(图 13-15) 由较强的因科镍合金材料制成,而由此端部格架 30 的最外侧条带 44_o 在图 13-15 的示例性实施例中采用水平定向的凸起 50、52。

[0046] 图 10-18 的定位格架可采用对于中间格架的任何合适的结构,诸如图 6 和 7 的示例性的“交替弹簧”中间条带 44_m 或图 8 和 9 的背对背的中间条带 44_{m2}。在后一种情况下,背对背的中间条带 44_{m2} 占据附加的侧向空间,由此,弹簧引入特征件对于这些中间条带 44_{m2} 需要制造得较浅,以留下用于将燃料棒插入最近的栅元内的足够空间。

[0047] 在公开的实施例中,一旦燃料棒安装好,且悬臂弹簧 60、62 的长度的主要部分基本上垂直定向(例如,与图 15 和 18 中的垂直壁 84 平行),由此向冷却剂流呈现有限的前部区域。凸起 50、52 的水平定向相似地呈现限制流动的前部区域。示例性的定位格架还不包括内格架条带 44 上的流动混合叶片。由此,限制了横跨定位格架的压降。诸如文中公开的、具有减小压降的定位格架在采用自然循环或具有相对较小流量的辅助或强制循环的核反应堆的情况下特别有价值,诸如通常设计成产生 300 兆瓦或更少的电力的小型模块反应堆(SMR)设计。

[0048] 双悬臂弹簧 60、62 转动,以使接触面(例如,在两个示例性实施例中的顶部平坦的拱顶 90 或钩部 92)与燃料棒包层大致线接触。示例性的接触面 90、92 均提供较长的“平面”,以使接触长度最大化,并使会在交界部发生的任何包层磨损分散开。在顶部平坦的拱顶 90 的情况下,此平面是拱顶的平坦顶部,而在钩部 92 的情况下,将钩部结构的一部分制成平坦的。相似地,凸起 50、52 在精压的引入件之间适当地制造有较长的平坦区域,以提供与燃料棒包层的线接触,以使接触长度最大化,并将会在交界部出现的任何包层磨损分散开。所有接触面的轮廓成形为在去除金属时快速地增大磨损区域,以补偿可能会存在于包层至格栅交界部处的任何不对准瑕疵。当与双悬臂弹簧结构提供的两个“额外的”接触面结合时,公开的定位格架具有较大的去除的金属体积与侵入深度比,由此提供与燃料棒的良好接触,而不会不当地损害定位格架的总体强度。

[0049] 参照图 19 和 20,双悬臂设计可采用不同的构造。图 19 示出延长成并排的悬臂的实施例。因此,上弹簧 60' 使它们的锚定部位于定位格架的中间平面 66 下方,而它们悬臂配合表面位于中间平面 66 上方;而下弹簧 62' 使它们的锚定部位于定位格架的中间平面 66 上方,而它们悬臂配合表面位于中间平面 66 下方。任一给定栅元内的两个弹簧 60'、62' 的定向交替,以使上弹簧 60' 的根部或锚定部定位在与相邻的下弹簧 62' 上的薄钩部(或顶部平坦的拱顶,或其它配合面)相同的高度。这允许双弹簧 60'、62' 嵌入条带 44 上更小的空间内。图 20 示出上和下弹簧 60'、62' 水平定位的实施例。任一给定栅元内的两个弹簧 60'、62' 的定向交替,以使上弹簧 60' 的根部或锚定部定位在下弹簧 62' 的钩部(或顶部平坦的拱顶,或其它配合面)垂直上方,从而同样能够嵌入条带 44 上的更小空间内。弹簧 60''、62'' 的垂直堆叠在相邻的栅元之间是相反的,以平衡施加于内格架条带的扭转力矩。

[0050] 示例性的定位格架在横向于燃料棒的平面内具有正方形或矩形对称。然而,各种公开的方面容易包含到其它几何形状的定位格架中,诸如在横向于燃料棒的平面内具有六边形对称的六边形定位格架。

[0051] 已说明和描述较佳实施例。显然,在阅读和理解前述详细说明书后会有各种修改和变型。意指本发明诠释为包括迄今为止的所有修改和变型,只要这些修改和变型在所附

权利要求及其等同物的范围内。

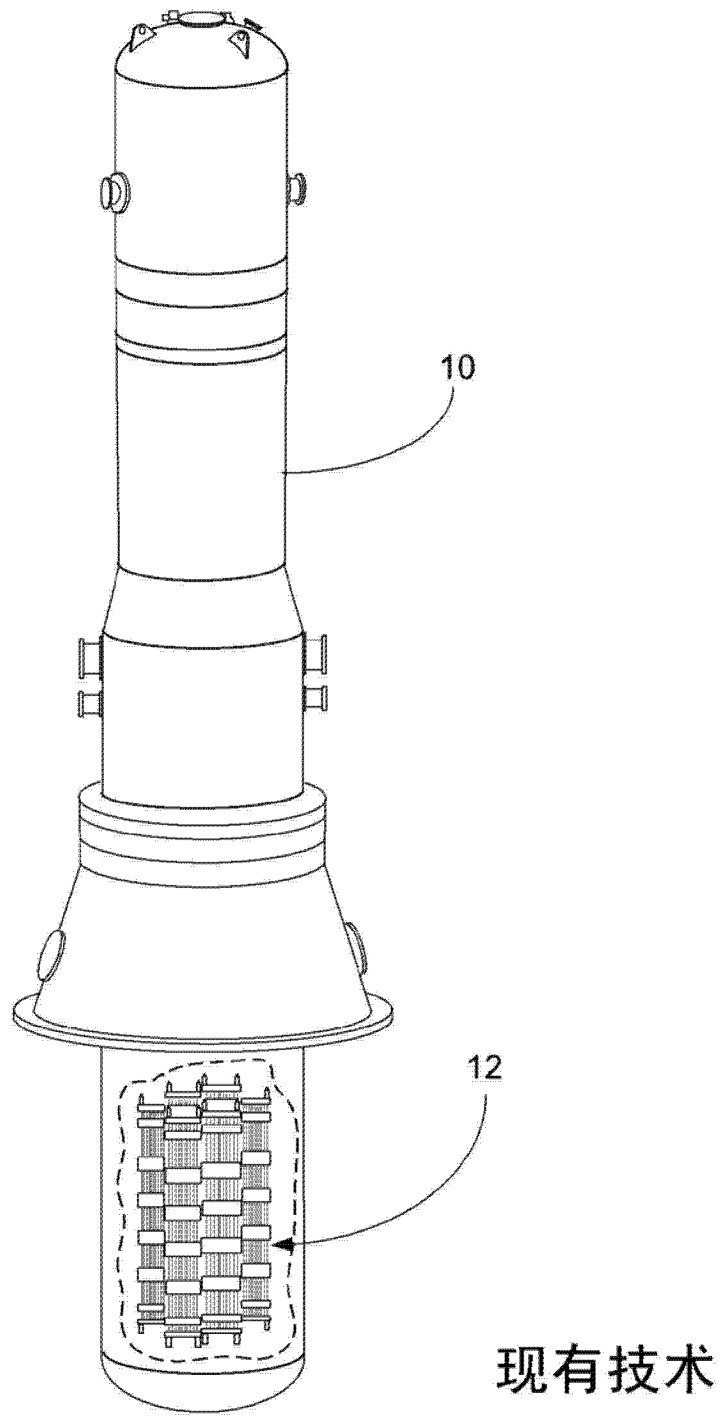


图 1

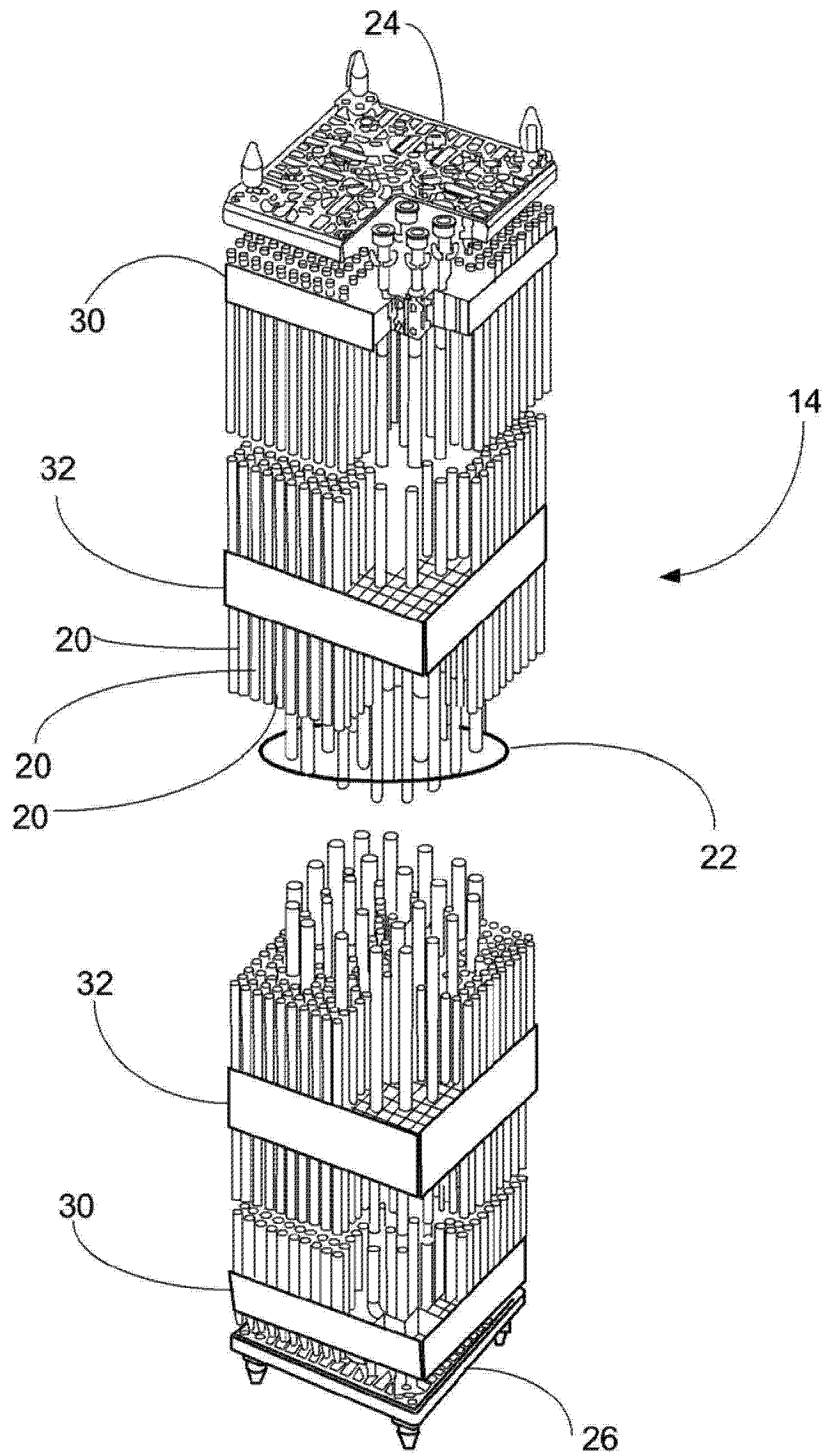


图 2

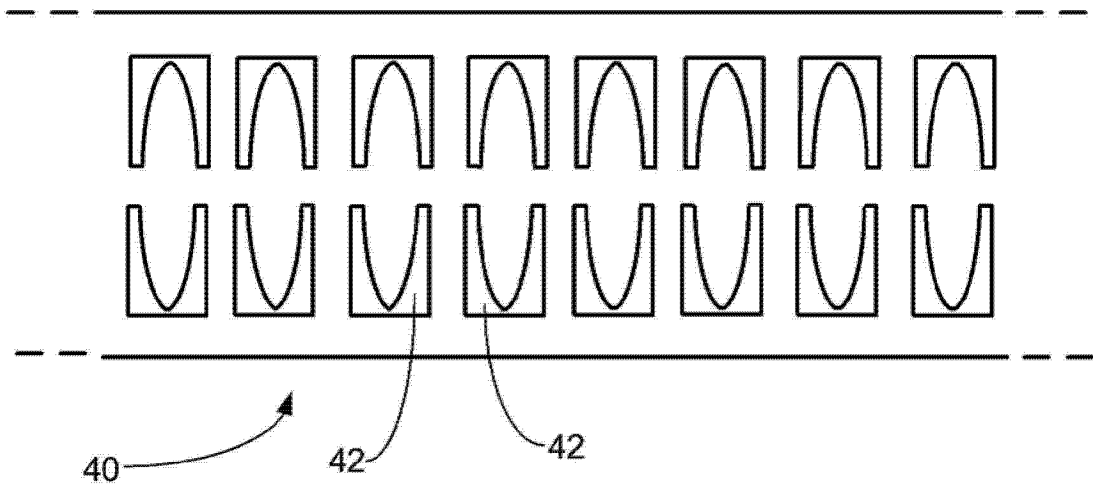


图 3

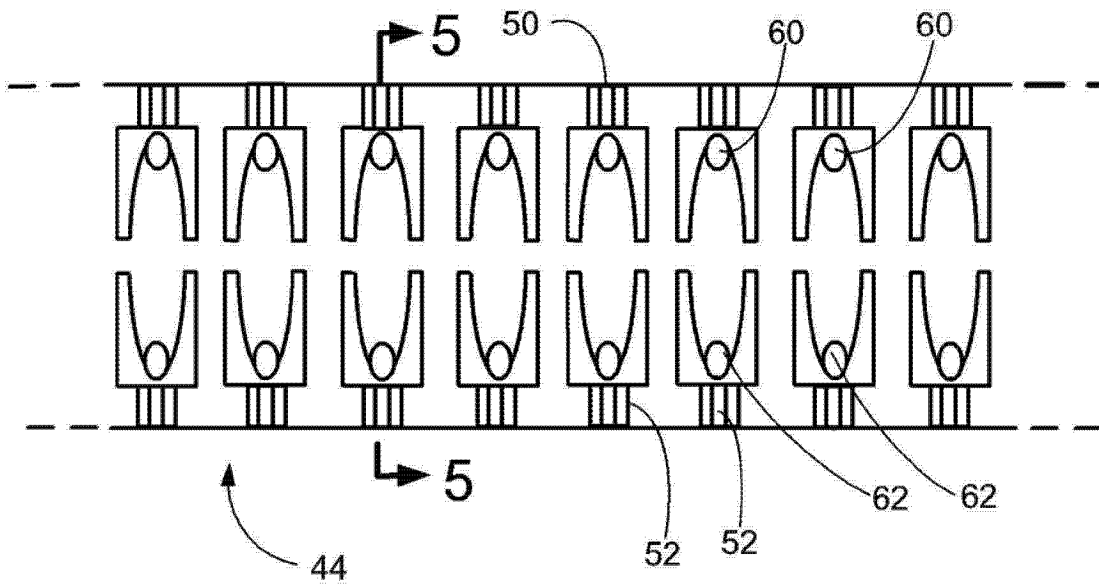


图 4

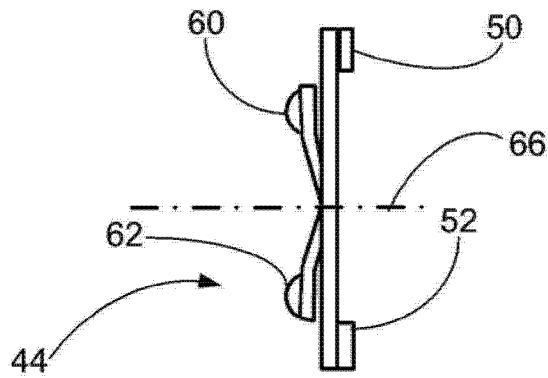


图 5

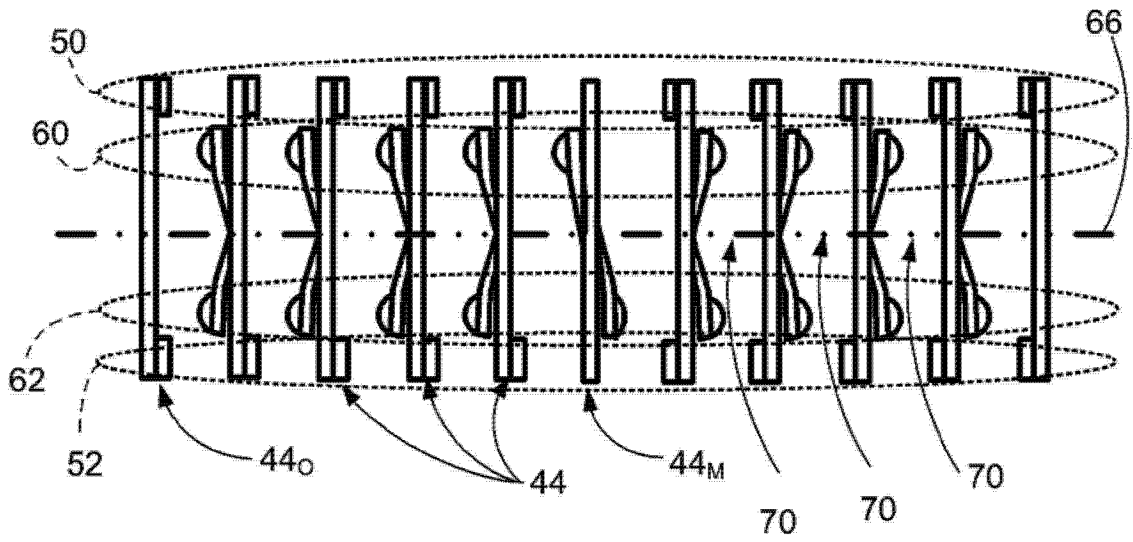


图 6

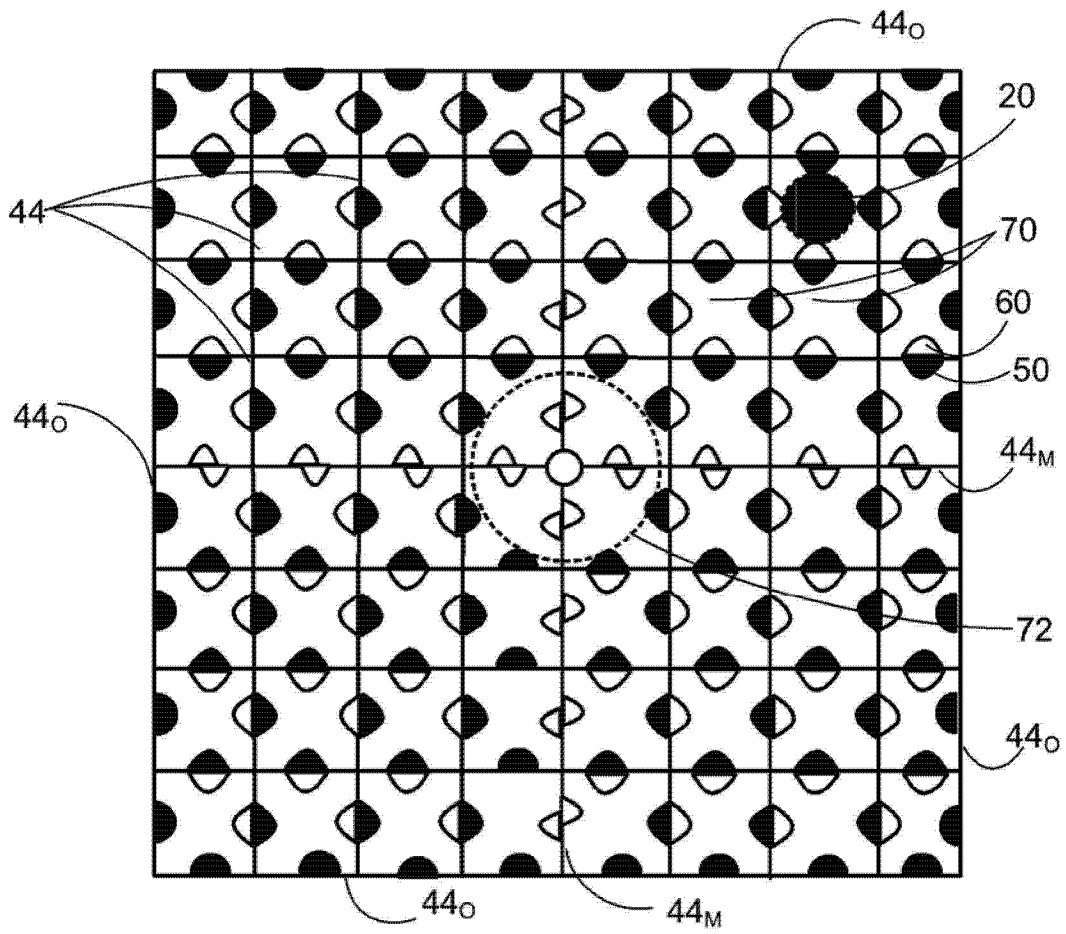


图 7

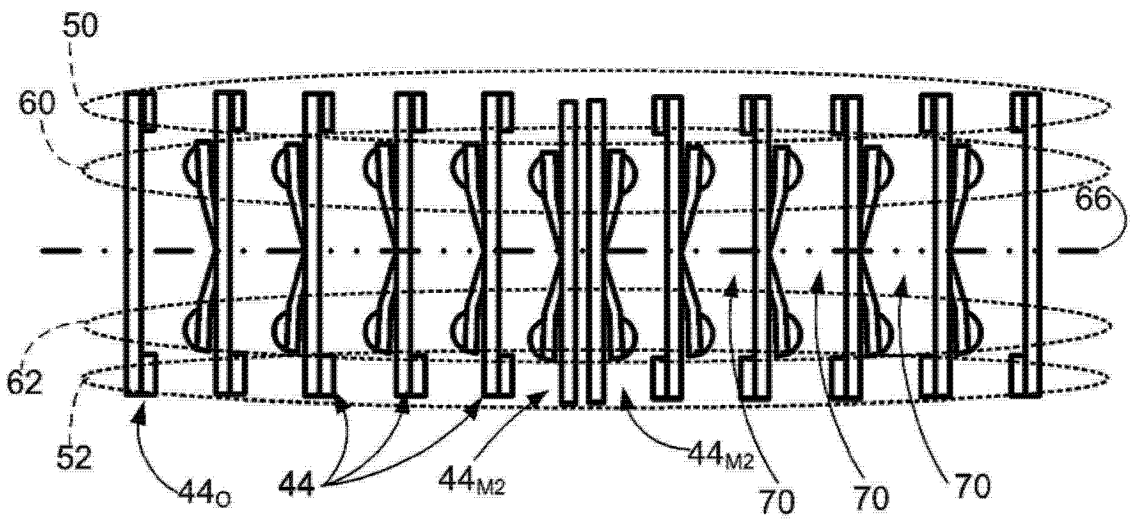


图 8

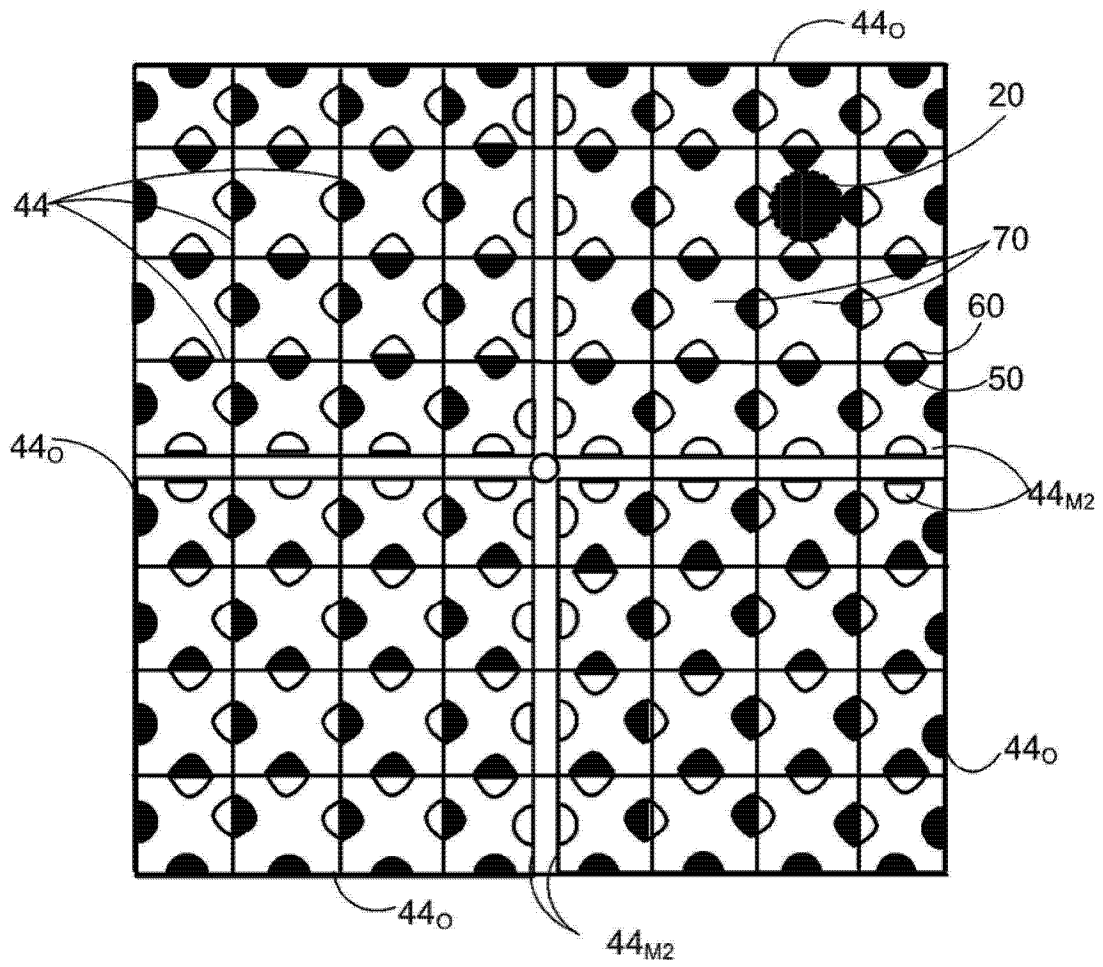


图 9

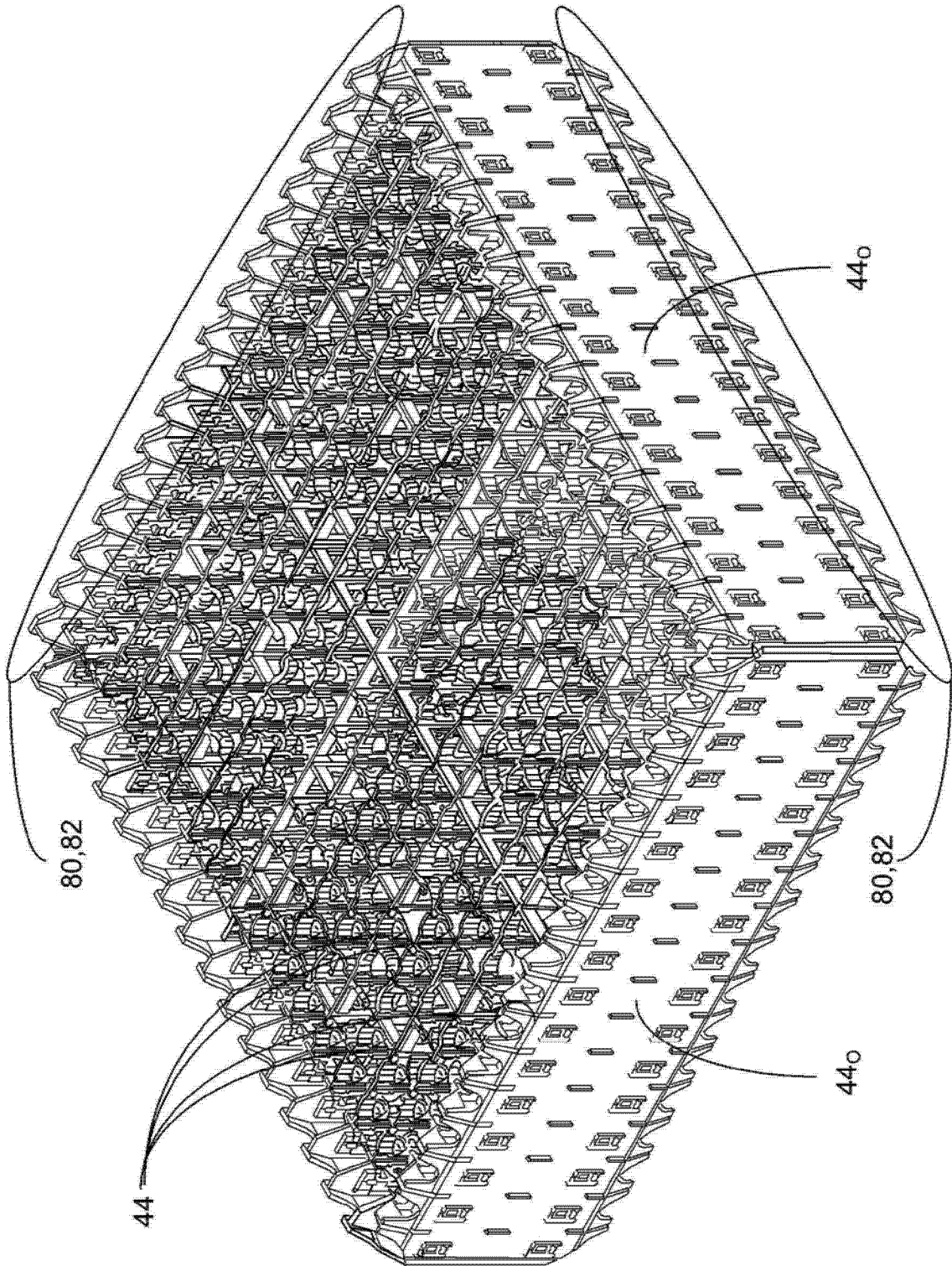


图 10

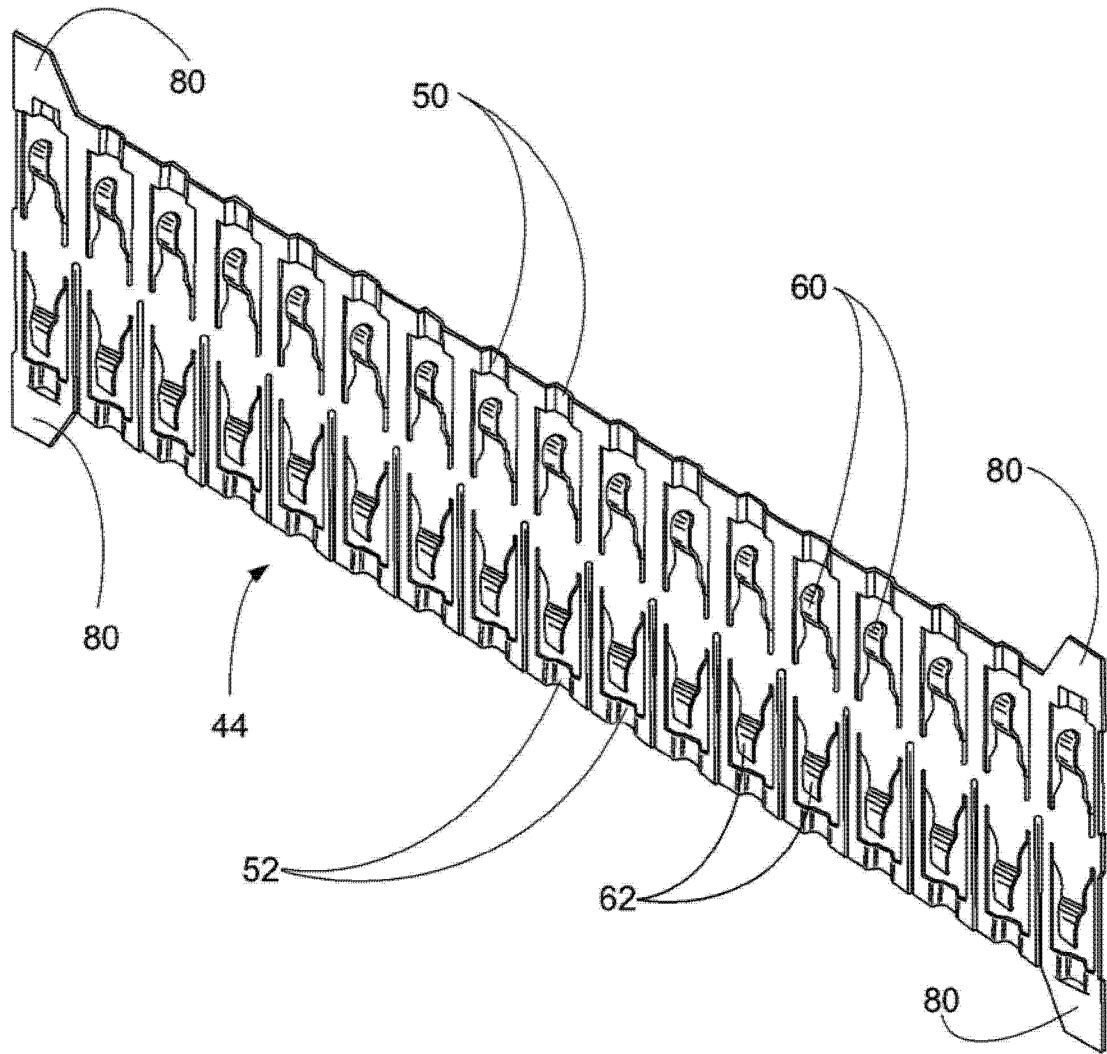


图 11

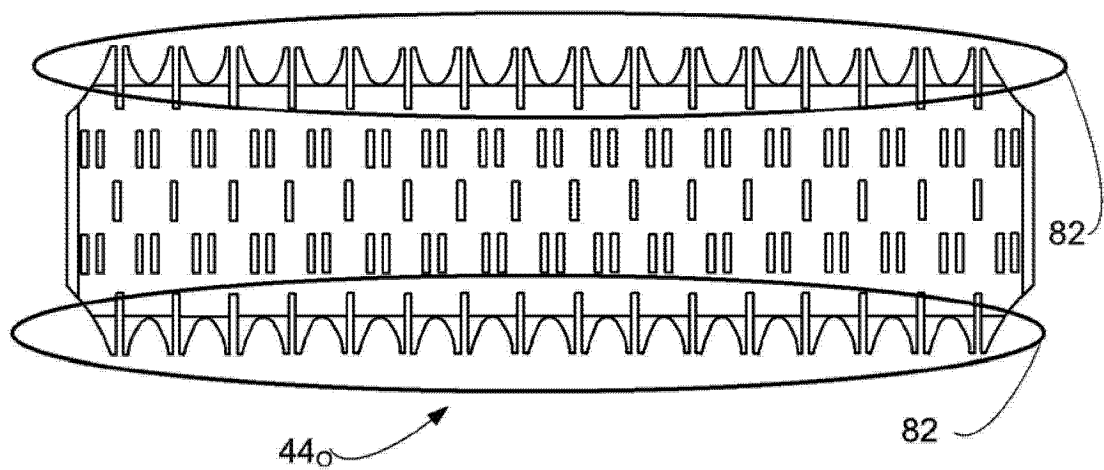


图 12

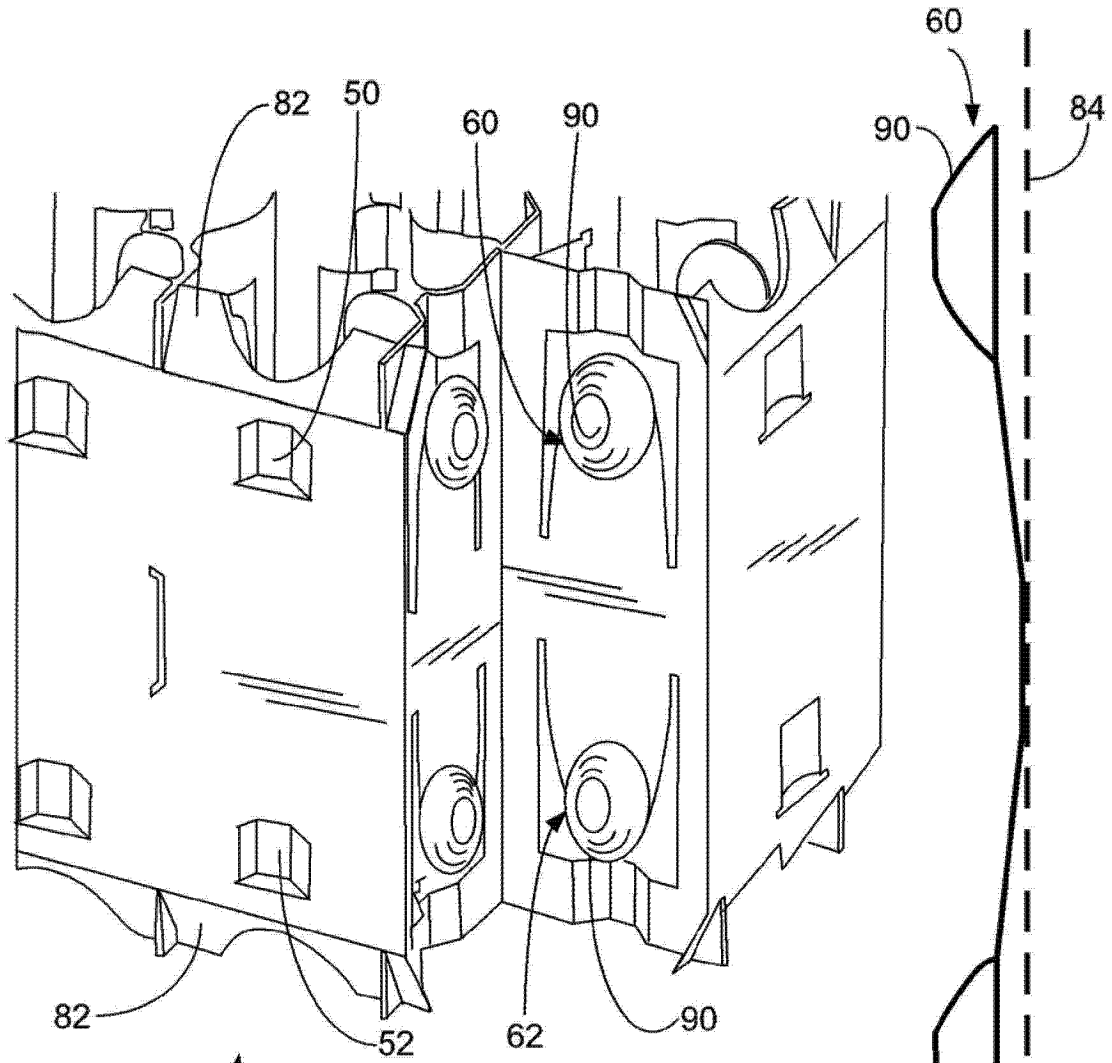


图 13

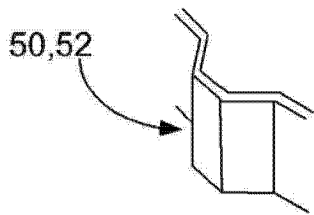


图 14



图 15

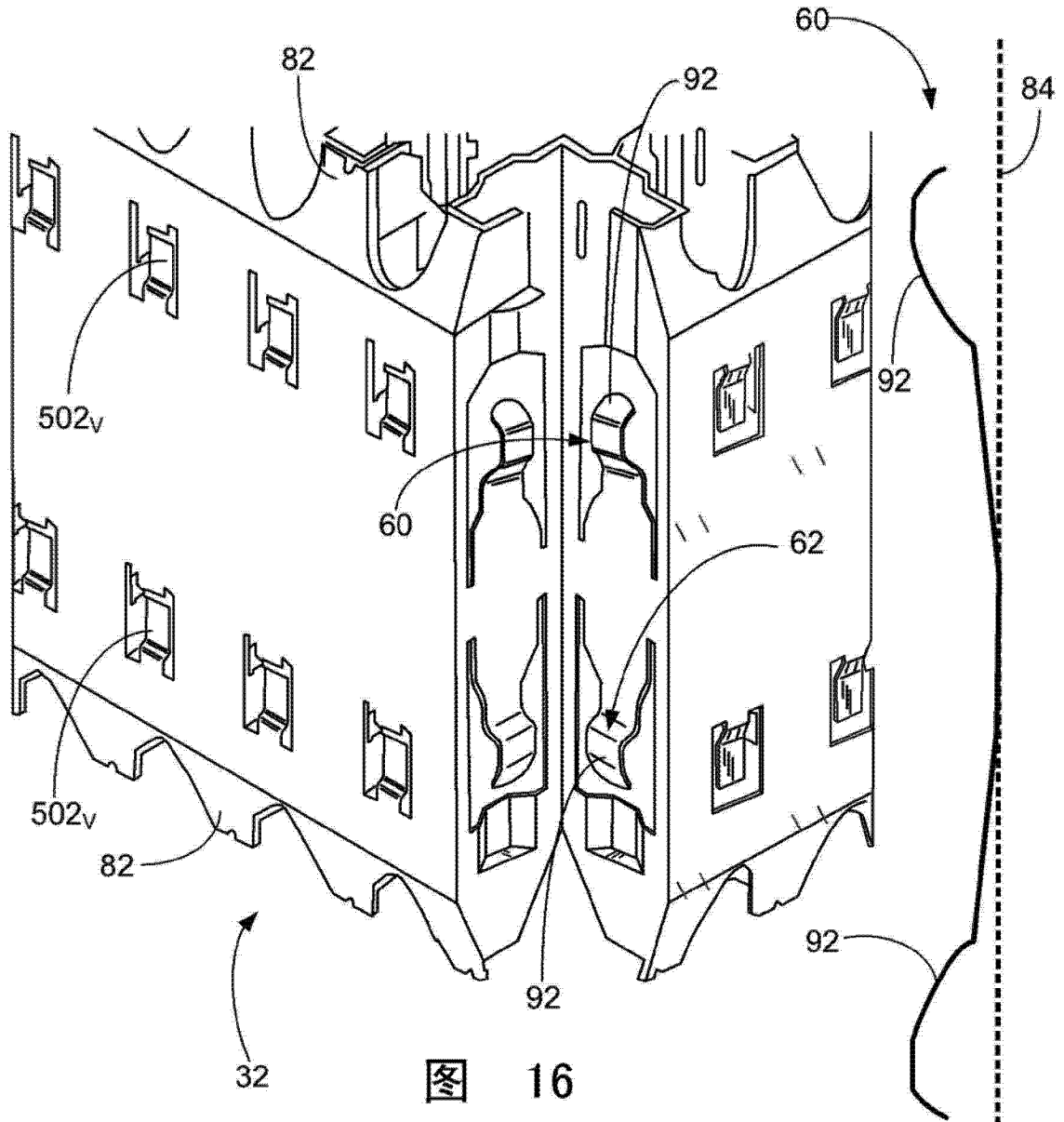


图 16

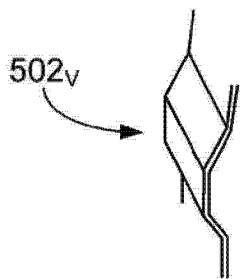


图 17

图 18

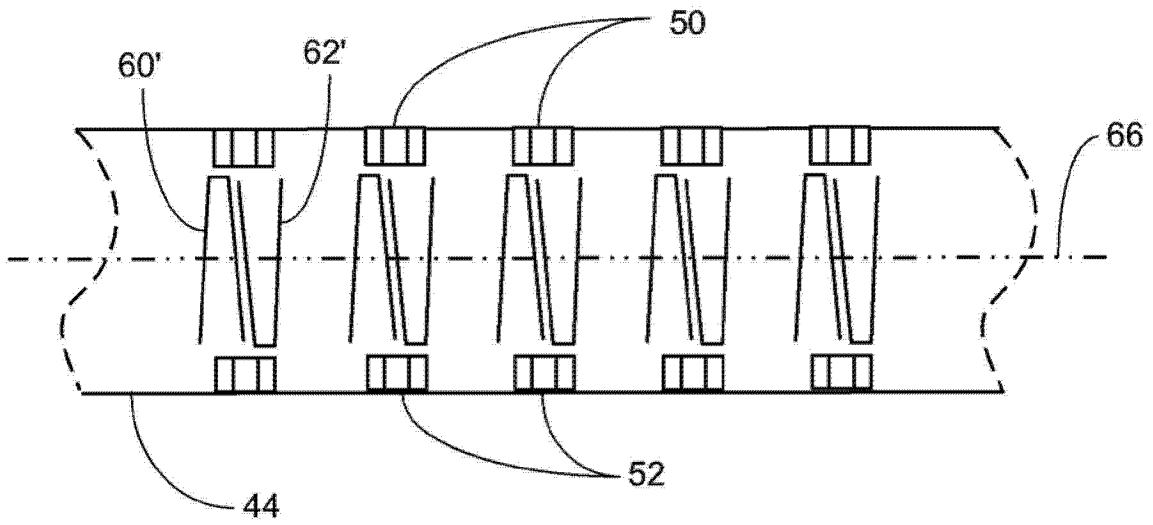


图 19

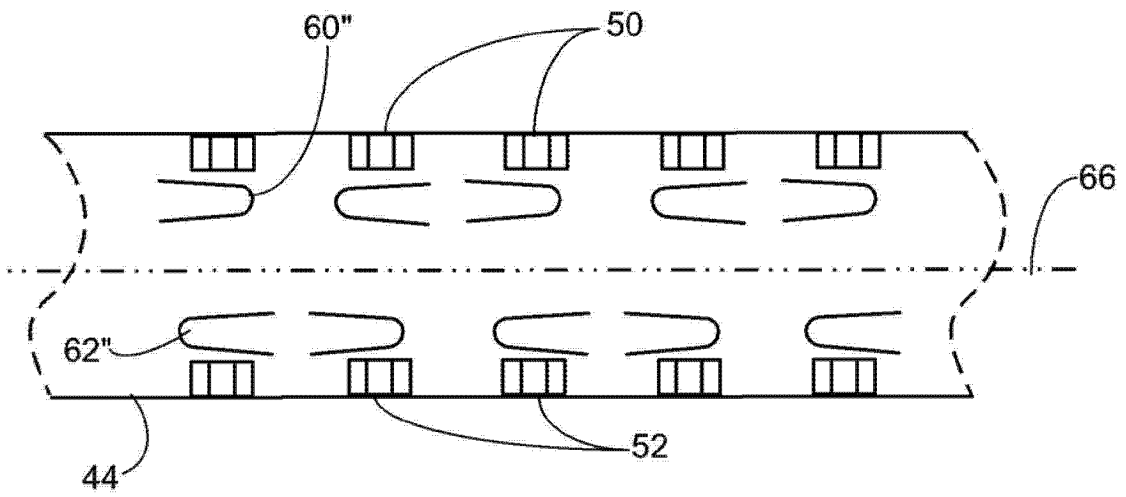


图 20