



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101447236 B

(45) 授权公告日 2013. 05. 22

(21) 申请号 200810179638. 0

(22) 申请日 2008. 11. 28

(30) 优先权数据

11/987, 159 2007. 11. 28 US

(73) 专利权人 通用电气 - 日立核能美国有限责任公司

地址 美国北卡罗来纳州

(72) 发明人 W·E·拉塞尔二世 C·J·莫内塔
D·G·史密斯

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 曾祥菱 刘华联

(51) Int. Cl.

G21C 3/30(2006. 01)

G21C 3/02(2006. 01)

G21C 3/04(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1051452 A, 1991. 05. 15,

CN 1051452 A, 1991. 05. 15,

EP 1667165 A2, 2006. 06. 07,

WO 0039807 A1, 2000. 07. 06,

US 5198186 A, 1993. 03. 30,

审查员 曲新兴

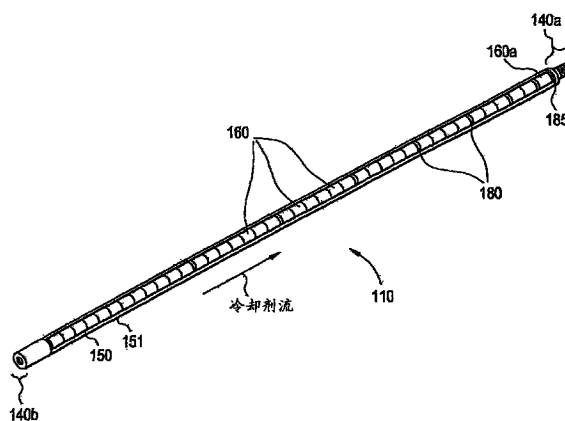
权利要求书2页 说明书6页 附图9页

(54) 发明名称

使用内部间隔器元件的燃料棒设计及其使用方法

(57) 摘要

本发明涉及使用内部间隔器元件的燃料棒设计及其使用方法。具体而言,一种示例性实施例可包括使用燃料元件间隔器(20)的核燃料棒和/或节段设计。燃料元件间隔器(20)可以在该燃料棒和/或节段内间隔地放置,以便控制燃料棒(18/19)和/或燃料棒节段的运行特性,和/或减少该燃料棒(18/19)和/或节段的磨损的发生。示例性方法可包括:通过调节燃料元件(160)间隔元件的距离来使用具有燃料元件(160)间隔元件的燃料棒和/或节段,以便影响燃料棒(18/19)和/或节段的机械特性、中子特性和/或热特性。



1. 一种燃料棒 (18/19), 包括:
壳体 (150), 其沿着所述燃料棒 (18/19) 的纵向轴线限定了所述燃料棒 (18/19) 的至少一部分;
多个核燃料元件 (160), 其布置在所述壳体 (150) 中; 和
至少一个内部间隔元件 (180), 其与所述多个核燃料元件 (160) 一起轴向地布置在所述壳体 (150) 中, 所述至少一个内部间隔元件 (180),
其被构造成用以保持所述多个核燃料元件 (160) 之间的相对的轴向位置, 和
其由这样的材料构成以使得在包含所述燃料棒 (18/19) 的核堆芯运行期间, 所述至少一个内部间隔元件 (180) 的物理特性和中子特性不受影响。
2. 根据权利要求 1 所述的燃料棒 (18/19), 其特征在于, 所述内部间隔元件 (180) 占据所述壳体内的位置, 以使得在包含所述燃料棒 (18/19) 的所述核堆芯的运行期间, 所述燃料棒 (18/19) 具有所需的热特性、机械特性或中子特性。
3. 根据权利要求 2 所述的燃料棒 (18/19), 其特征在于, 所需的热特性、机械特性或中子特性是所述燃料棒 (18/19) 的临界功率比和所述燃料棒 (18/19) 的氢铀比中的至少一个。
4. 根据权利要求 3 所述的燃料棒 (18/19), 其特征在于, 所述内部间隔元件 (180) 由具有小于约 5.0 靶的中子吸收和散射截面的刚性材料制成。
5. 根据权利要求 1 所述的燃料棒, 其特征在于, 所述内部间隔元件由锆制成。
6. 根据权利要求 1 所述的燃料棒 (18/19), 其特征在于, 所述内部间隔元件 (180) 是环状的, 以便所述内部间隔元件 (180) 可在所述环状部内容纳裂变产物积聚。
7. 根据权利要求 6 所述的燃料棒, 其特征在于, 所述内部间隔元件还包括沿径向方向穿透所述环状部的至少一个入口孔。
8. 根据权利要求 1 所述的燃料棒, 其特征在于, 所述内部间隔元件是实心的并且是圆柱形的。
9. 根据权利要求 8 所述的燃料棒, 其特征在于, 所述内部间隔元件具有与所述壳体的内径大体上相等的外径, 以便将所述壳体间隔化。
10. 根据权利要求 8 所述的燃料棒, 其特征在于, 所述内部间隔元件具有机加工的凹腔、多个部分钻过的孔和凹陷的表面的其中之一。
11. 根据权利要求 1 所述的燃料棒 (18/19), 其特征在于, 所述燃料棒 (18/19) 包括多个内部间隔元件 (180), 所述多个内部间隔元件 (180) 位于所述壳体内, 且在所述壳体的第一纵向位置处与所述壳体的第二纵向位置处相比具有增加的频度、更小的间隔。
12. 根据权利要求 11 所述的燃料棒 (18/19), 其特征在于, 所述第二纵向位置与所述运行的核堆芯中的冷却剂流从所述第一纵向位置向上游的方向相关联, 并且, 其中, 所述第二位置和所述第一位置都处于接触所述燃料棒 (18/19) 的两个相邻间隔器 (20) 之间。
13. 根据权利要求 1 所述的燃料棒 (18/19), 其特征在于, 所述燃料棒 (18/19) 包括多个内部间隔元件 (180), 并且所述多个内部间隔元件 (180) 的至少一部分连续地定位并且与接触所述燃料棒 (18/19) 的至少一个间隔器 (20) 邻近。
14. 一种燃料棒, 包括:
多个燃料棒节段, 至少一个燃料棒节段包括,

壳体,其位于所述燃料棒节段内;

多个核燃料元件(160),其位于所述壳体中;和

至少一个内部间隔元件,其与所述多个核燃料元件一起沿轴向地布置在所述燃料棒节段中,所述至少一个内部间隔元件被构造成用以保持所述多个核燃料元件之间的相对的轴向位移。

15. 根据权利要求14所述的燃料棒节段,其特征在于,所述内部间隔元件占据所述壳体内的位置,以使得在包含所述燃料棒节段的所述核堆芯的运行期间,所述棒节段具有所需的热特性、机械特性或中子特性。

16. 根据权利要求14所述的燃料棒节段,其特征在于,所述内部间隔元件是环状的,以便所述内部间隔元件可在所述环状部内容纳裂变产物积聚。

17. 根据权利要求14所述的燃料棒节段,其特征在于,所述内部间隔元件是实心的并且是圆柱形的。

18. 根据权利要求14所述的燃料棒节段,其特征在于,所述燃料棒节段包括多个内部间隔元件,所述多个内部间隔元件位于所述壳体内,且在所述壳体的第一纵向位置处与所述壳体的第二纵向位置处相比具有增加的频度和更小的间隔。

19. 根据权利要求18所述的燃料棒节段,其特征在于,所述第二纵向位置与所述运行的核堆芯中的冷却剂流从所述第一纵向位置向上游的方向相关联。

20. 根据权利要求14所述的燃料棒节段,其特征在于,所述燃料棒节段包括多个内部间隔元件,并且所述多个内部间隔元件的至少一部分连续地定位并且与接触所述燃料棒节段的至少一个间隔器邻近。

21. 根据权利要求14所述的燃料棒节段,其特征在于,所述内部间隔元件由这样的材料制成,以使得在包含所述燃料棒节段的核堆芯运行期间,所述至少一个内部间隔元件的物理特性和中子特性不受影响。

22. 根据权利要求14所述的燃料棒,其特征在于,所述燃料棒还包括:

有阻力的元件,其位于所述壳体的末端并与所述核燃料元件和内部间隔元件一起沿轴向地定位,以便在所述核燃料元件和内部间隔元件上提供压缩力。

23. 根据权利要求14所述的燃料棒,其特征在于,所述核燃料元件具有不同的浓度。

24. 一种使用燃料棒的方法,所述方法包括:

确定所述燃料棒(18/19)的所需的中子特性、机械特性和热力学特性中的至少一个特性;

计算燃料元件(160)在所述燃料棒(18/19)内的位置,所述位置在包括所述燃料棒(18/19)的运行的核堆芯中实现了所述至少一个所需的中子特性、机械特性和热力学特性;

和
根据所计算的位置,将至少一个内部间隔元件和至少一个燃料元件(160)放置到所述棒中。

25. 根据权利要求24所述的方法,其特征在于,所述放置步骤将所述至少一个内部间隔元件和至少一个燃料元件放置到至少一个燃料棒节段中,从而形成所述燃料棒。

使用内部间隔器元件的燃料棒设计及其使用方法

技术领域

[0001] 示例性实施例大体上涉及用于核电站的燃料结构和用于使用燃料结构的方法。

背景技术

[0002] 通常,核电站包括在其中布置有燃料的反应堆芯,以通过核裂变来发电。根据特定核电站的运行条件,燃料元件可具有多种构造和/或特性。例如,尺寸、相对于堆芯的位置、相对于其它燃料的位置、浓缩、基本燃料类型以及燃料的形状都会影响电站运行参数。在美国核电站中,一种普遍的设计是将燃料布置在多个包壳的燃料棒中,这些包壳的燃料棒束缚在一起作为置于反应堆芯中的燃料组件。

[0003] 如图 1 所示,核反应堆的常规的燃料棒束 10(例如 BWR)可包括围绕上连接板 14 和下连接板 16 的外部通道 12。多个全长燃料棒 18 和/或部分长度燃料棒 19 可以在燃料棒束 10 内布置成矩阵形式,并且穿过多个间隔器(也称为间隔构架)20,该间隔器 20 沿竖直方向彼此隔开,并且使棒 18,19 保持在其给定的矩阵中。

[0004] 燃料棒 18 和 19 通常从其基部至终端是连续的,在全长燃料棒 18 的情况下,是从下连接板 16 至上连接板 14。因此,棒内的包壳和燃料元件通常也贯穿燃料棒 18 或 19 的长度是连续的。

[0005] 如图 2 所示,燃料元件 21 可成形为芯块形式(pellet-form),并且置于燃料棒 18 或 19 内。这些燃料芯块 21 可以在燃料棒中连续地“堆叠”,以贯穿燃料棒 18 或 19 的长度来提供燃料。在反应堆芯的运行周期中,燃料芯块 21 的堆叠可允许燃料芯块 21 的膨胀或其它变形。此外,芯块 21 和燃料棒 18 或 19 的内壁 23 之间的间隙 22,可容纳反应堆运行期间由燃料芯块 21 所生成的气体裂变产物。间隙 22 可以是真空的,或者是充有低压非反应性气体,例如氦气。在燃料棒端部处可存在其它的间隙(未示出)和/或弹簧 24,以进一步允许裂变产物积聚和芯块变形。

发明内容

[0006] 示例性实施例涉及使用内部燃料元件间隔器的燃料棒设计,特别是涉及特定的内部燃料元件间隔器,该燃料元件间隔器在燃料棒和/或燃料节段内间隔地放置,以便控制棒的运行特性和/或减少与燃料棒的磨损(fretting)相关的问题。示例性实施例的燃料元件间隔器可沿着棒高度按变化的间隔来放置,和/或聚集在棒端部处以便保护棒端部处的磨损区。示例性实施例还可包括:使用带有内部间隔元件的燃料棒节段来代替单独的连续的燃料棒。示例性方法可包括:通过调整间隔元件的距离来使用具有燃料元件间隔元件的燃料棒和/或燃料节段,以便影响燃料棒节段的机械特性、中子特性或热特性。

附图说明

[0007] 通过参考附图对示例性实施例进行详细描述,示例性实施例将变得更加明显,其中,相同的元件由相同的参考标号来表示,这些标号仅为了示意目的而给出,并且因此而不

限制本申请的示例性实施例。

[0008] 图 1 是具有连续棒的相关技术燃料组件的示意图。

[0009] 图 2 是来自图 1 的相关技术燃料棒的详细视图,显示了燃料元件和其中相关的间隔。

[0010] 图 3A 是示例性实施例的燃料棒节段和间隔器的示意图。

[0011] 图 3B 是图 3A 的间隔器和示例性实施例的分段棒的详细视图。

[0012] 图 4 是示例性实施例的燃料棒节段的局部剖视图。

[0013] 图 5 是另一示例性实施例的燃料棒节段的局部剖视图。

[0014] 图 6 是示例性燃料间隔元件的示意图。

[0015] 图 7A、图 7B、图 7C 和图 7D 显示了各个示例性燃料间隔元件。

[0016] 图 8 是显示了使用燃料棒节段的示例性方法中的步骤流程图。

具体实施方式

[0017] 本申请公开了示例性实施例的详细的示范性实施例。然而,本申请所公开的具体的结构性和功能性细节仅仅是为了描述示例性实施例的目的的代表性细节。然而,该示例性实施例可以以许多备选的方式予以实施,并且不应将其理解为仅限于本申请所述的示例性实施例。

[0018] 将理解的是,虽然在本申请中可使用用语第一、第二等来描述各个元件,但这些元件不应由这些用语所限制。这些用语仅用于使元件彼此区别开来。例如,第一元件可以称作第二元件,而且同样地,第二元件也可以称为第一元件而不脱离示例性实施例的范围。如本申请所使用的,用语“和 / 或”包括相关的所列条目的一个或多个条目的任一和所有组合。

[0019] 将理解的是,当提到一个元件“连接”、“联接”、“配接”、“附接”或“固定”到另一元件上时,该元件可以直接连接或联接到另一个元件上,或者也可存在中间元件。相反,当提到一个元件“直接连接”或“直接联接”到另一个元件上时,则不存在中间元件。应该以类似的方式来理解用于描述元件之间的关系的其它词语(例如,“在...之间”比对“直接在...之间”,“相邻”比对“直接相邻”等)。

[0020] 本申请中所使用的术语仅用于描述特定实施例的目的,而非意图限制示例性实施例。如本申请中所使用的,除非文字另有明确表示,单数形式“一”、“一个”、“该”也意图包括其复数形式。还将理解的是,当本申请中使用用语“包括”时,其表明存在所述的特征、整体、步骤、操作、元件和 / 或构件,但是不排除存在或者添加一个或多个其它特征、整体、步骤、操作、元件、构件和 / 或其组合。

[0021] 还应注意的是,在一些备选的实施方案中,提及的功能 / 作用可能不会按照图中所示的顺序出现。例如,根据所涉及的功能 / 作用,两个连续显示的附图实际上可大致同时执行,或者有时可按照相反的顺序来执行。

[0022] 图 3A 和图 3B 显示了示例性实施例的燃料棒节段。图 3A 显示了上端件 120 和下端件 130 之间的多个棒节段 110。已知的是,上端件 120 和下端件 130 可包括螺纹或其它配接机构,以便与燃料棒束 10(见图 1)的下连接板和上连接板(见图 1)相配接。相邻棒节段可通过另一棒节段或转接器组件而彼此互连,该转接器组件大体显示为图 3A 的虚线环内的组件 300。特别是图 3B 详细显示了虚线环中所示的相邻棒节段 110a 和 110b 的连接,

以下将对此进行更详细的描述。

[0023] 图 3A 中显示了仅一个由示例性实施例棒节段 110 形成的棒组件 100, 可理解的是, 可以将图 3A 中所示的棒组件 100 和棒节段 110 中的一个或多个棒组件和棒节段插入到燃料棒束中。例如, 棒组件 100 可代替图 1 的燃料棒束 10 中的燃料棒 18 和 19 中的一个或多个燃料棒。

[0024] 示例性实施例的棒节段 110 可附接在上端件 120 和 / 或下端件 130 之间并彼此附接, 以便形成棒组件 100 的整个轴向长度。示例性实施例的棒节段 110a、示例性实施例的棒节段 110b 以及上端件 120 和下端件 130 中的各一个可以直接地连接、或者通过位于连接点处的转接器组件 300 而沿着棒组件 100 的轴向长度相连接。在图 3A 和图 3B 的实施例中, 这些连接点沿轴向至少布置在棒组件接触间隔器 20 的位置处。虽然图 3A 中仅显示了三个间隔器 20 和转接器组件 300, 但是燃料棒束 10 可包括一个或多个棒组件 100, 各个棒组件 100 均具有彼此连接、或者通过处于任意数量的间隔器 20 位置上的转接器组件 300 而连接的至少一个示例性实施例的棒节段 110a 和至少一个示例性实施例的棒节段 110b。示例性实施例棒节段 110a 和 110b 可以是固定长度的节段, 以有利于制造工艺。作为备选, 示例性实施例棒节段可具有不同的长度, 以便适应部分长度棒的设计和 / 或各种间隔器位置和尺寸。

[0025] 示例性实施例的棒节段可由抗腐蚀的并且与其它反应堆构件相容的材料来构成。例如, 可使用锆合金来制造示例性实施例的棒节段。上文已对示例性实施例燃料棒节段进行了描述, 将了解的是, 对“棒节段”或“燃料棒节段”的任何参考都援引以上描述, 而单独使用的“燃料棒”或“棒”指的是背景技术部分中所描述连续棒。

[0026] 如图 3B 所详细示出的, 间隔器 20 可在转接器组件 300 处接触棒组件 100, 以便大致覆盖转接器组件 300。作为备选, 缺少燃料元件的示例性实施例的棒节段 110 可在棒节段 110 之间的连接点 115 处连结其它示例性实施例的棒节段 110。因此, 可以消除或者减少在这些点 115 处由于间隔器 20 接触棒节段而产生的磨损。虽然仍可发生磨损, 但微动磨损可在转接器组件 300 上或未装燃料的棒节段上发生, 而不是在装有燃料的节段 110a 或 110b 上发生。因此, 这便可消除或减少内含物 (contents) 潜在地从示例性实施例的棒节段 110 内释放到反应堆冷却剂中。

[0027] 图 4 是示例性实施例棒节段 110 的局部剖视图, 显示了棒节段 110 中的内部结构。如图 4 所示, 中心壳体 150 存在于棒节段中, 并且由外包壳 151 所围绕。第一配接结构 140a 和第二配接结构 140b 分别布置在棒节段 110 的相应的第一端和第二端, 并且密封中心壳体 150。配接结构 140a 和 140b 可允许棒节段 110 可移除地配接到包括上述棒节段的其它结构上。

[0028] 示例性棒节段 110 可在中心壳体 150 内包括一个或多个燃料元件 160。各个燃料元件 160 可在适当的物理介质 (例如陶瓷氧化物等) 中包括一个或多个核燃料, 例如铀和 / 或钚。燃料元件 160 可形成为如图 4 所示的“芯块”; 然而, 也可使用其它物理形状, 例如球形、六面体等。元件 160 可在壳体 150 内沿轴向对齐, 以便沿着棒节段 110 的纵向轴线堆叠。

[0029] 示例性棒节段 110 还在中心壳体 150 内包括一个或多个内部间隔元件 180, 这些间隔元件 180 在壳体 150 内与任意燃料元件 160 同轴地放置。内部间隔元件 180 在示例性实

施例的棒节段 110 内将燃料元件 160 刚性地限制到特定的轴向位置和 / 或间隔距离处。

[0030] 内部间隔元件 180 可以在示例性棒节段 110 内以多种距离来放置。内部间隔元件 180 的位置可影响示例性棒节段的中子发生特性和发热特性 (如下文所述), 从而允许在保持发热限制的同时有更多的发电量。

[0031] 例如, 如图 4 所示, 内部间隔元件可以在朝向第一配接结构 140a 的方向上, 以比朝向第二配接结构 140b 时更大的频度 (frequency) 来放置。这样, 间隔元件 180 可通过朝向第二配接结构 140b (即朝向棒节段 100 的第二端) 提高燃料浓度, 来有效地改变燃料浓度、相关的中子通量和加热特性。

[0032] 作为另一个示例, 在运行的核堆芯中, 冷却剂可沿着图 4 中的示例性棒 110 而按照图中所示的方向流动。如上所述, 图 3B 中所示的间隔器 20 可放置在第一配接结构 140a 和第二配接结构 140b 处, 或放置在该第一和第二配接结构附近。间隔器 20 可使流经间隔器的冷却剂混合, 并且随着冷却剂沿着图 4 中箭头所示的方向流动, 该冷却剂可在沿着棒节段 110 的边界层的位置处变得较少混合。随着冷却剂沿图 4 所示的方向远离第二配接结构 140b 附近的间隔器 20 而流动, 冷却剂可具有逐渐降低的对流传热特性。因此, 在冷却剂到达下一个间隔器 20 之前, 热传递不足和妨碍临界功率比 (critical power ratio) 的最大风险可发生在第一配接结构 140a 附近, 此处冷却剂最少混合并且最热。

[0033] 图 4 所示的相隔一定距离放置的内部间隔元件 180, 可有效地减少燃料量和第一配接结构 140a 附近处的发热量, 从而在当冷却剂变得较少混合和 / 或对流传热的能力降低时, 减少对冷却剂的必需的传热量。因此, 图 4 所示的间隔可防止或减少棒节段 110 和冷却剂之间的热传递不足, 并且从而提高使用示例性实施例的棒节段 110 的反应堆效率。

[0034] 同样地, 如图 4 所示, 朝向示例性实施例的燃料节段端部而定位的燃料元件 160a 可具有不同的燃料浓度, 例如较高的或者较低的铀浓度, 以进一步加强和补充对通过内部间隔元件 180 而获得的轴向热分布的影响。

[0035] 作为备选, 内部间隔元件 180 可以其它间隔来放置, 该间隔影响示例性实施例的棒节段 110 的中子发生特性和 / 或发热特性, 并且具有不同间隔的节段可结合成用以产生总体更高效的堆芯。例如, 放置在堆芯内的轴向位置处的具有极高中子通量水平的棒节段 110 可包括更多的内部间隔元件 180, 以有效地减少该特定轴向位置处的燃料含量和燃料流量。通过间隔器元件位置而改变的其它中子特性可包括, 例如, 示例性实施例的燃料棒节段的氢铀比、中子吸收截面和中子散射截面。这样, 内部间隔元件 180 可提供精制的机构, 通过该机构来影响包括示例性实施例的棒节段 110 的核堆芯内的中子通量。

[0036] 内部间隔元件 180 还可提高示例性实施例的棒节段 110 的机械特性。如上所述, 放置在第一配接结构 140a 和第二配接结构 140b 附近的间隔器 20 可磨损节段 110。如图 5 所示, 如果在运行期间由于间隔器 20 交叠或滑动而使包括核燃料的棒节段 110 受到磨损, 则连续地并且邻近第一配接结构 140a 和 / 或第二配接结构 140b 地放置内部间隔元件 180 可防止或减少包括在节段 110 中的燃料元件 160 的释放。也就是说, 附加的间隔元件 180 可环绕间隔器 20 而提供更长的长度, 在间隔器 20 处, 可发生磨损, 且燃料元件 160 或者其部件通过该磨损的溢漏减少或者没有溢漏, 即便间隔器 20 滑动或与包含燃料的棒节段 110 相互交叠时也是如此。这样, 内部间隔元件 180 可影响和 / 或提高示例性实施例的棒节段 110 的机械特性。

[0037] 内部间隔元件 180 可由多种材料形成并具有多种物理形状,以便获得上述功能。内部间隔元件 180 的尺寸通常设定成适于装配在壳体 150 内,并且其形状通常设定成用以在燃料元件 160 之间刚性地保持间隔距离。例如,球形、圆柱形、盘形,圆盘形、环形、管形、六面体和 / 或环面形都可以是实现上述间隔功能的间隔元件 180 的功能性形状。内部间隔元件 180 沿着纵向轴线方向通常是刚性的,以便在燃料元件 160 之间保持恒定的间隔距离。内部间隔元件可随燃料元件 160 而“漂移”,保持燃料元件之间的相对的轴向位移,但允许内部间隔元件和燃料元件相对于壳体和燃料棒节段移动。

[0038] 如图 4 所示,示例性实施例的燃料棒可包括对燃料元件 160 和 / 或间隔元件 180 提供压缩力的弹簧或有阻力的元件 185。这种有阻力的元件 185 可包括由在运行的核反应堆环境中保持其弹性和其它物理特性的材料而制成的线圈、片状弹簧等。在整个运行的燃料周期中,由有阻力的元件 185 所提供的压缩力可适应燃料元件 160 在腔 150 内形状和定向的变化。

[0039] 图 6 显示了具有环形形状的示例性内部间隔元件 280。环形形状的内部间隔元件 280 可沿轴向刚性地隔开燃料元件,并且允许裂变气体产物填充环状部的中心。因此,图 6 所示的示例性内部间隔元件 280 可提供带有用以容纳气体、液体和 / 或固体裂变产物的额外空间的示例性实施例的燃料棒节段,并且该示例性实施例燃的料棒节段可要求较少的其它空间来容纳这些产物。此外,可存在入口孔 281,以便在燃料芯块堵塞通向环状部的入口时,允许裂变产物、特别是气体和液体裂变产物迁移到环状部中。这样,裂变产物就可通过壳体中的间隙而迁移到环状部中。

[0040] 图 7A 显示了具有实心圆柱形状的示例性内部间隔元件 380。实心圆柱形的内部间隔元件 380 可沿轴向隔开燃料元件,并且因其是实心的而可进一步地隔开示例性实施例的棒节段。如上所述,内部间隔元件 380 可大致接合 (meet) 壳体 150 的内径 23(图 2 所示),以便有助于间隔化。示例性间隔元件 380 可防止裂变产物贯穿示例性实施例的棒节段进行迁移,并且可在磨损的情况下由于迁移经过实心内部间隔元件 380 的裂变产物的减少而减少了裂变产物的移动。

[0041] 图 7B 至图 7D 显示了用于示例性实施例的内部间隔元件的不同的表面构造。如图 7B 所示,示例性实施例的内部间隔元件 381 可在其至少一个表面中具有机加工的凹腔 384,以容纳裂变产物在其中积聚,而不允许裂变产物穿过示例性实施例的内部间隔元件 381。图 7C 显示了示例性实施例的内部间隔元件 382,其具有不穿过示例性实施例的内部间隔元件 382 整个轴向长度的多个部分钻过的孔 385。孔 385 可容纳裂变产物累积而不允许裂变产物穿过示例性元件 382。图 7D 显示了另一个示例性实施例的内部间隔元件 383,其具有内凹的 / 凹陷的表面。该内凹的 / 凹陷的表面可允许裂变产物在该凹部中积聚,而不允许该产物穿过示例性间隔元件 383。

[0042] 内部间隔元件 180 可根据其将怎样影响示例性实施例的燃料节段而由多种材料制成。例如,在将间隔元件设计成用以降低有效燃料浓度的情况下,间隔器可以由具有小于常规核燃料的热中子吸收截面和 / 或散射截面如低于 5 靶的材料制成。这些示例性内部间隔元件 180 可以由铪或具有低的总中子截面的另一刚性材料如因科镍合金而制成。作为备选,间隔元件可用于吸收中子流,在这种情况下,内部间隔元件可以由具有更高的热中子吸收截面的材料来形成,例如包括硼。

[0043] 内部间隔元件 180 还可由大致接合壳体 150 内壁 23 的材料制成。该材料可以是可膨胀的或有阻力的,以便提供刚性的轴向间隔和约束,从而隔开壳体 150 并防止或者减少裂变产物迁移。这种材料可用于使得磨损长度增加而不会从示例性实施例的棒节段中释放燃料元件的间隔器元件。内部间隔元件 180 还可以由隔热材料或导热材料制成,以便进一步影响示例性实施例的棒节段的发热特性。

[0044] 图 8 显示了在燃料棒节段中使用间隔元件的示例性方法。如步骤 S100 所示,工程师、计算机程序和 / 或其它使用者根据节段在堆芯中的位置来确定该特定棒节段所需的中子特性、机械特性和热力学特性。例如,工程师可能希望节段产生更大的底部峰值轴向通量,以改善朝向堆芯顶部的排放和钚的生成。在 S200 中,工程师、计算机程序或其它使用者根据核领域中的公知方法,来计算棒节段内所需的燃料浓度和位置,使得运行的核堆芯的特性和状态开始生效。在步骤 S300 中,将间隔元件和燃料元件放置在燃料棒节段内,以获得符合所计算的燃料浓度和位置的间距和相对位置。一旦完成了该示例性方法,便可将燃料棒节段放置在运行的核燃料堆芯中的指定位置,并且生成输入到示例性方法中的所需特性。

[0045] 因此,通过对示例性实施例和方法进行描述,本领域技术人员将了解的是,在常规的实践中可改变示例性实施例和示例性方法而无须进一步的创造性活动。例如,虽然本公开内容提出了内部间隔元件可用于棒节段,但该内部间隔元件还可用于任何棒,例如图 1 的单独连续棒 18 和 19,并且可获得燃料棒节段中的所述连续棒的相同功能。这些变型不认为是脱离了示范性实施例的精神和范围,并且意图使得所有这些对于本领域技术人员显而易见的修改包含在所附权利要求的范围内。

常规技术

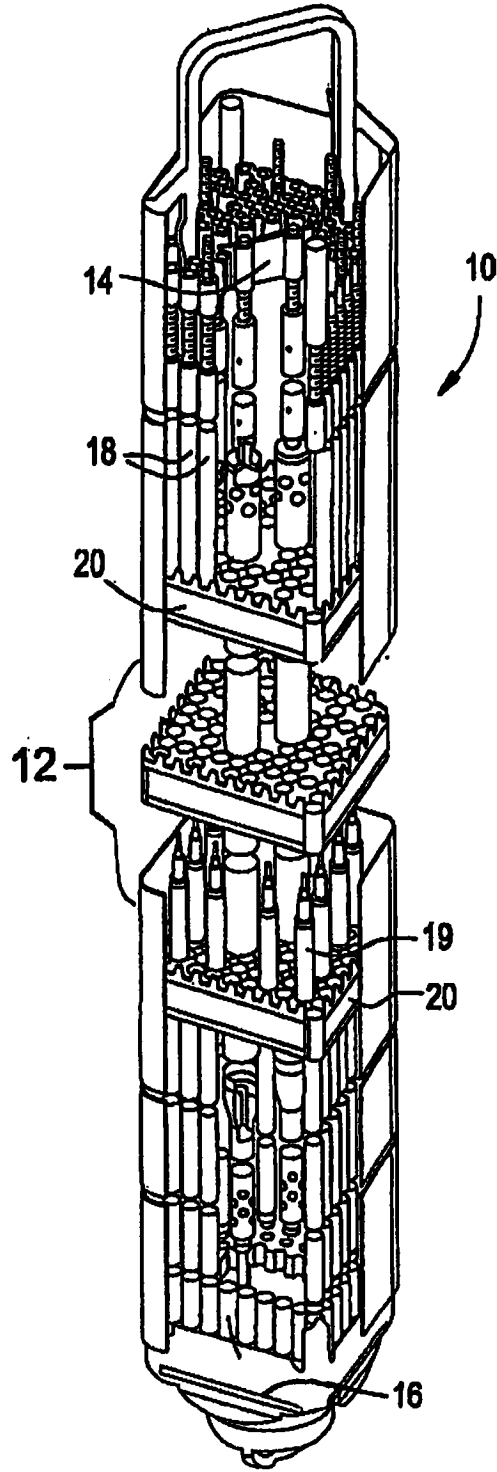


图 1

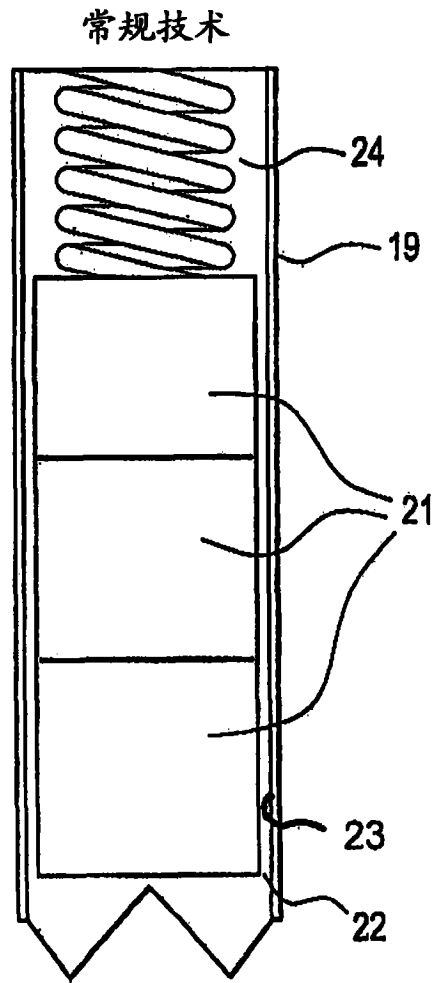


图 2

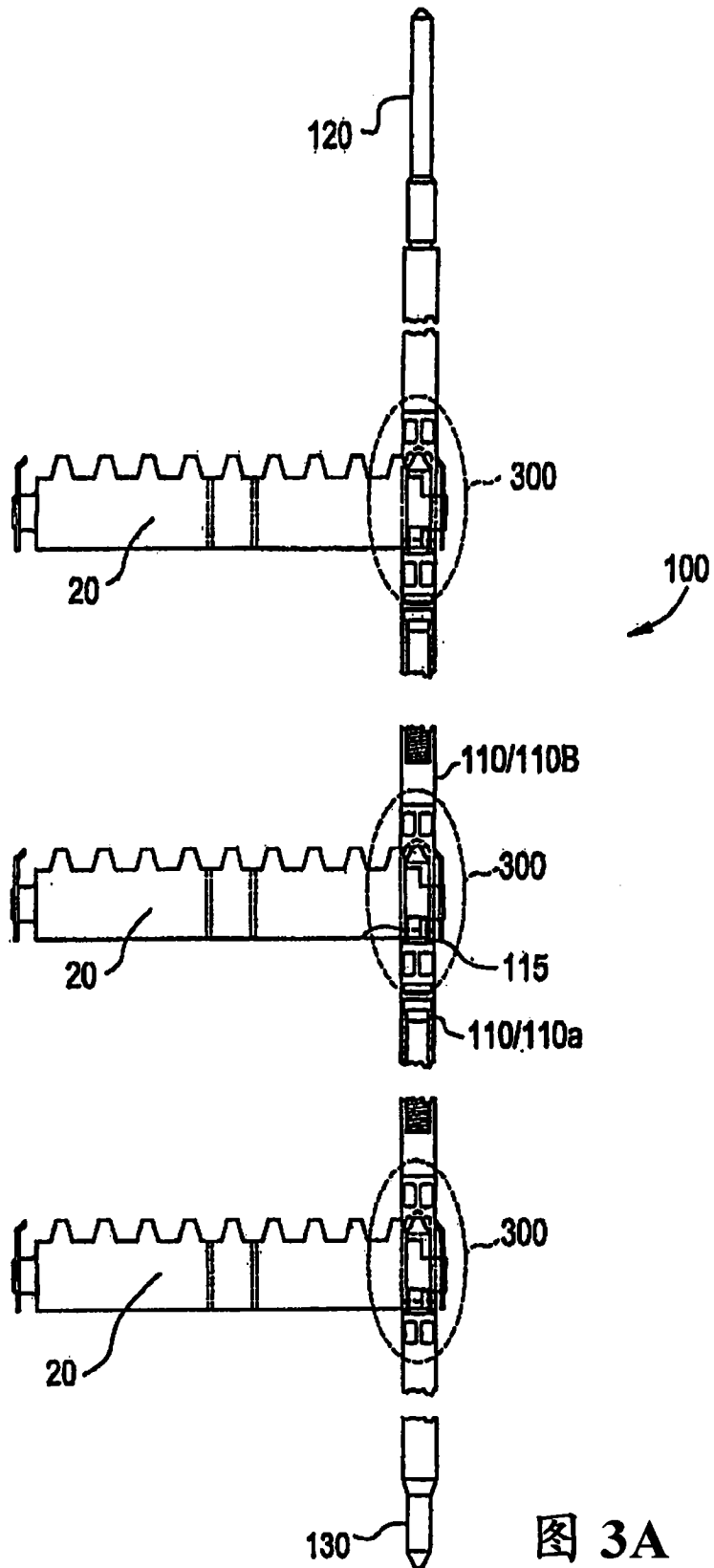


图 3A

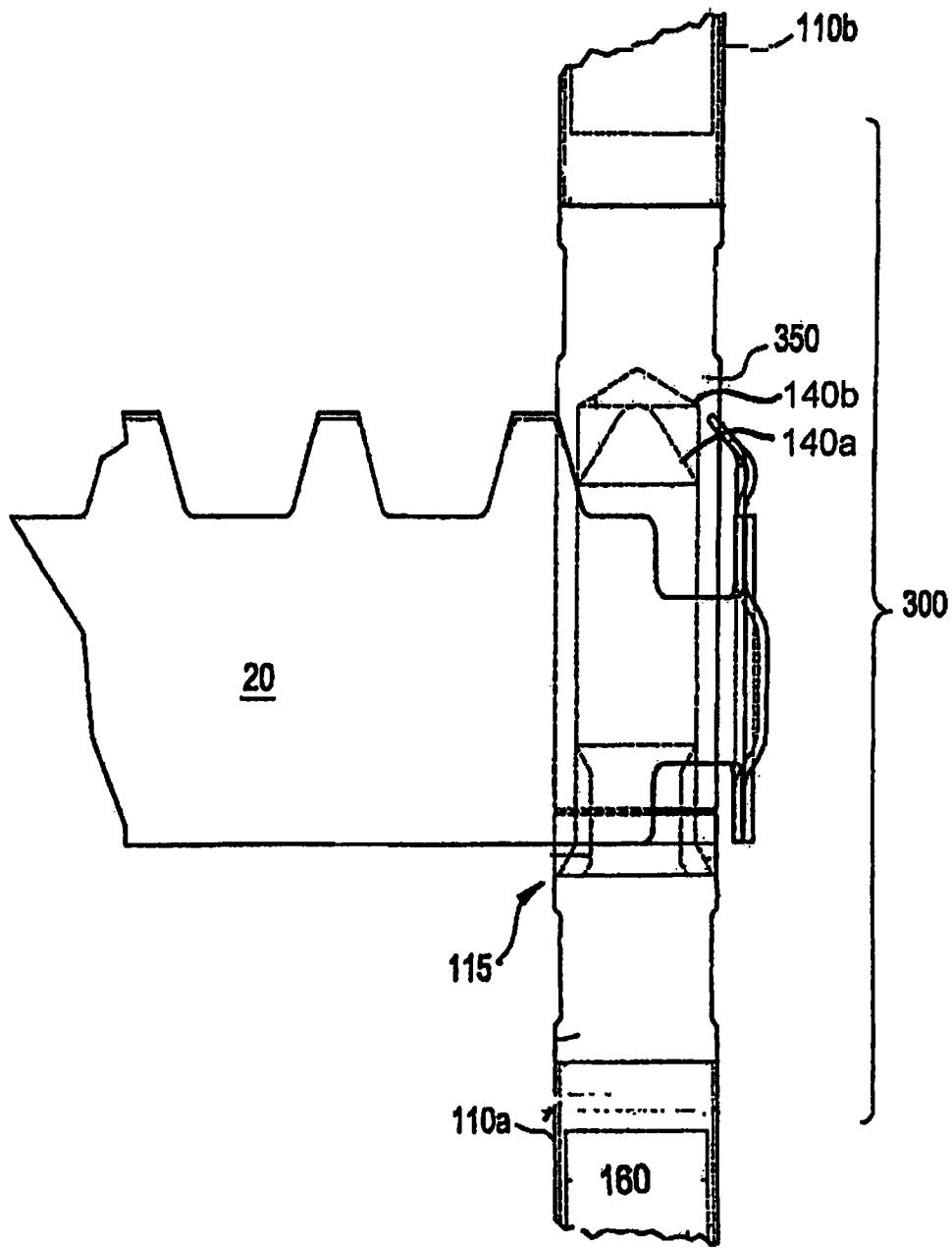


图 3B

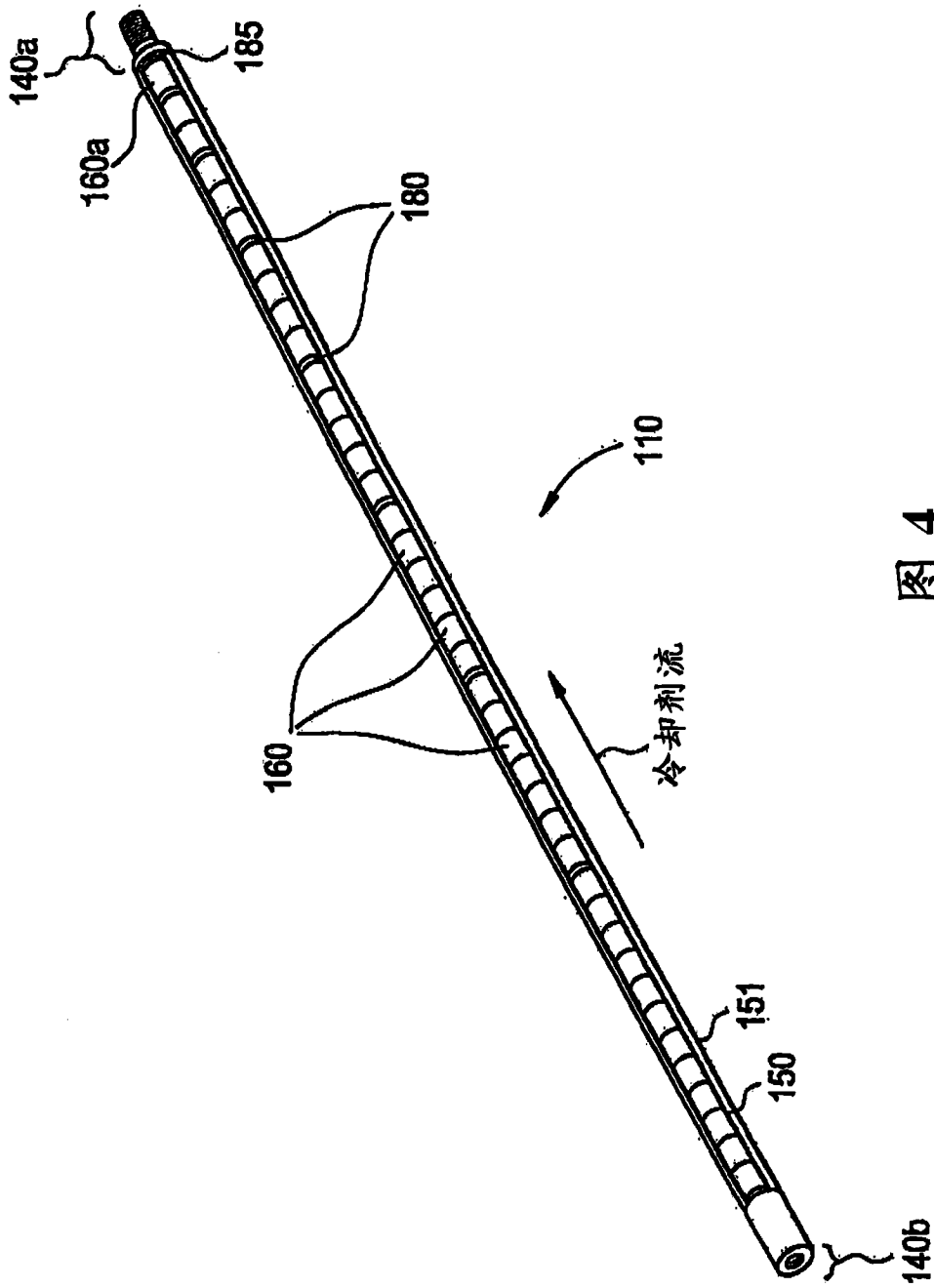


图 4

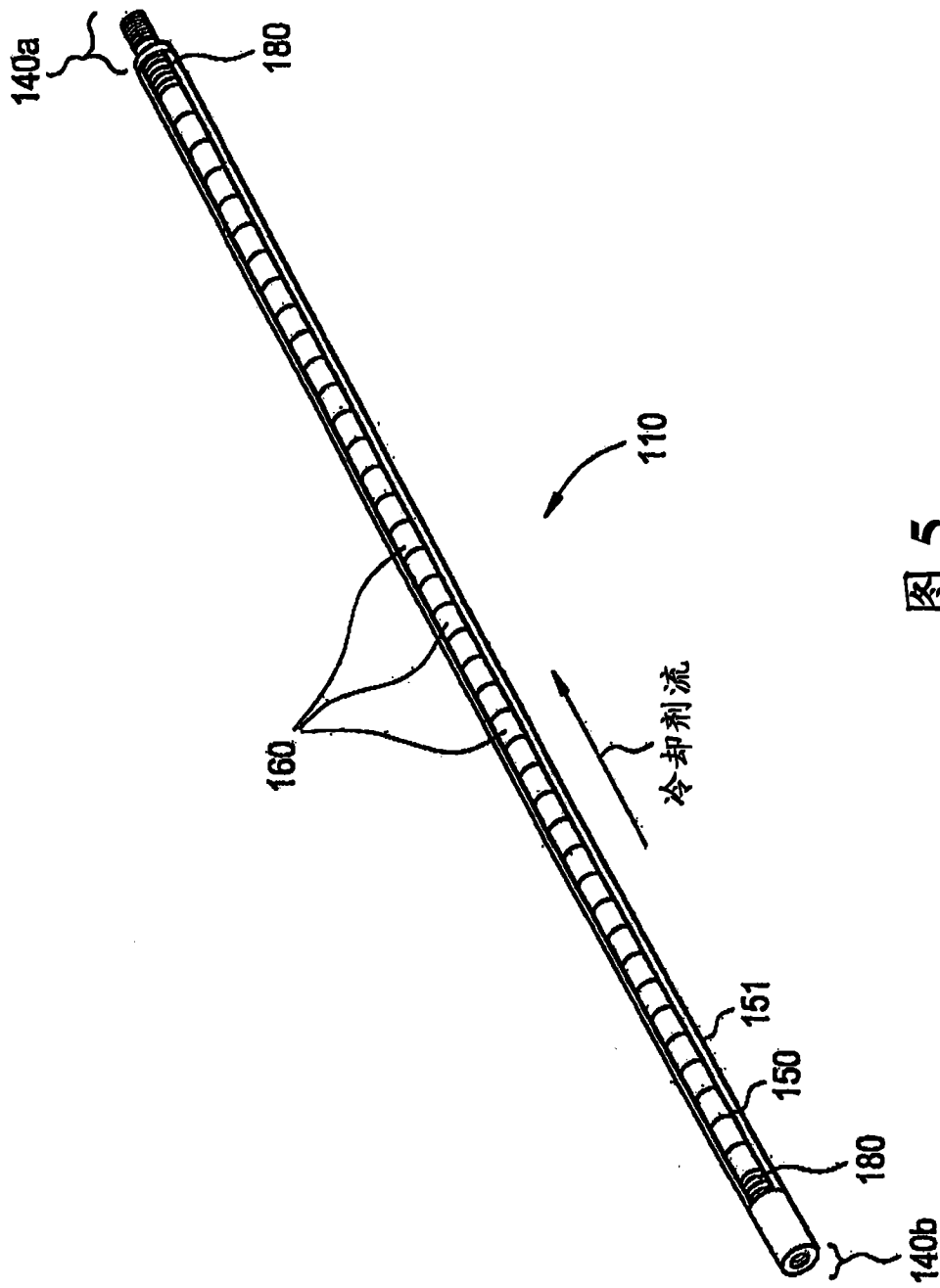


图 5

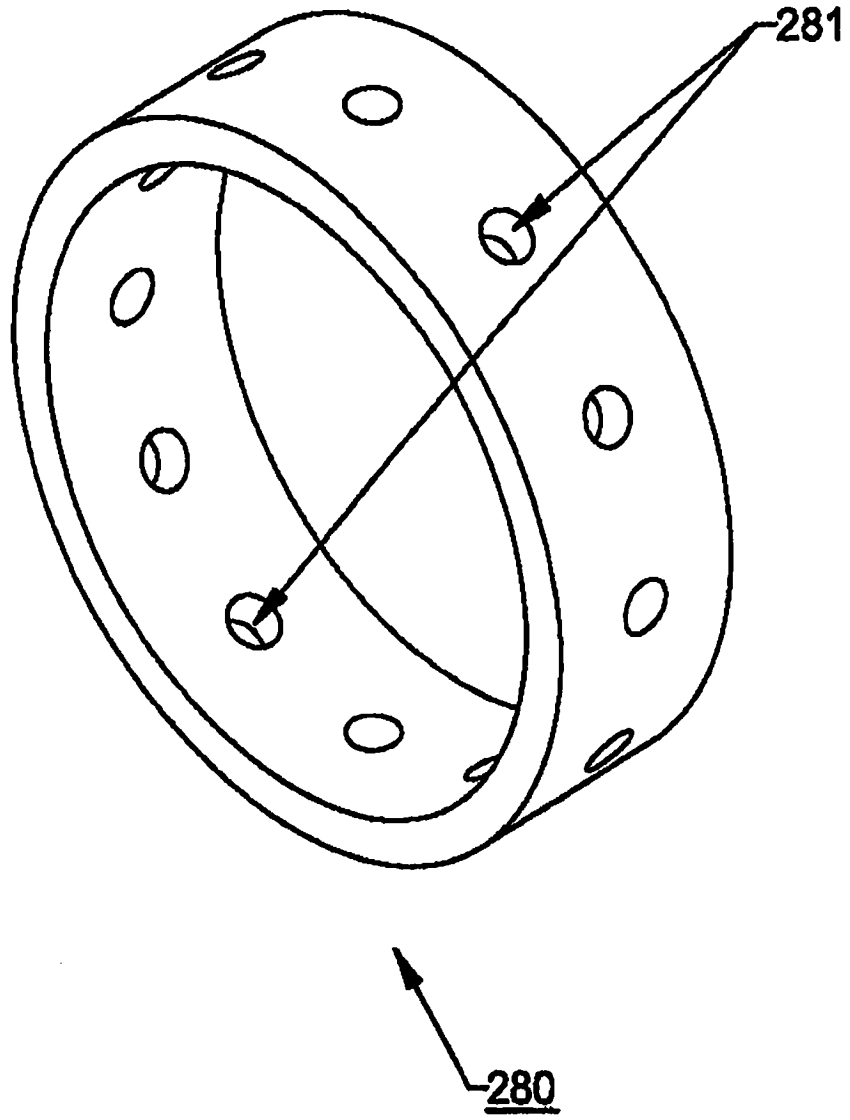
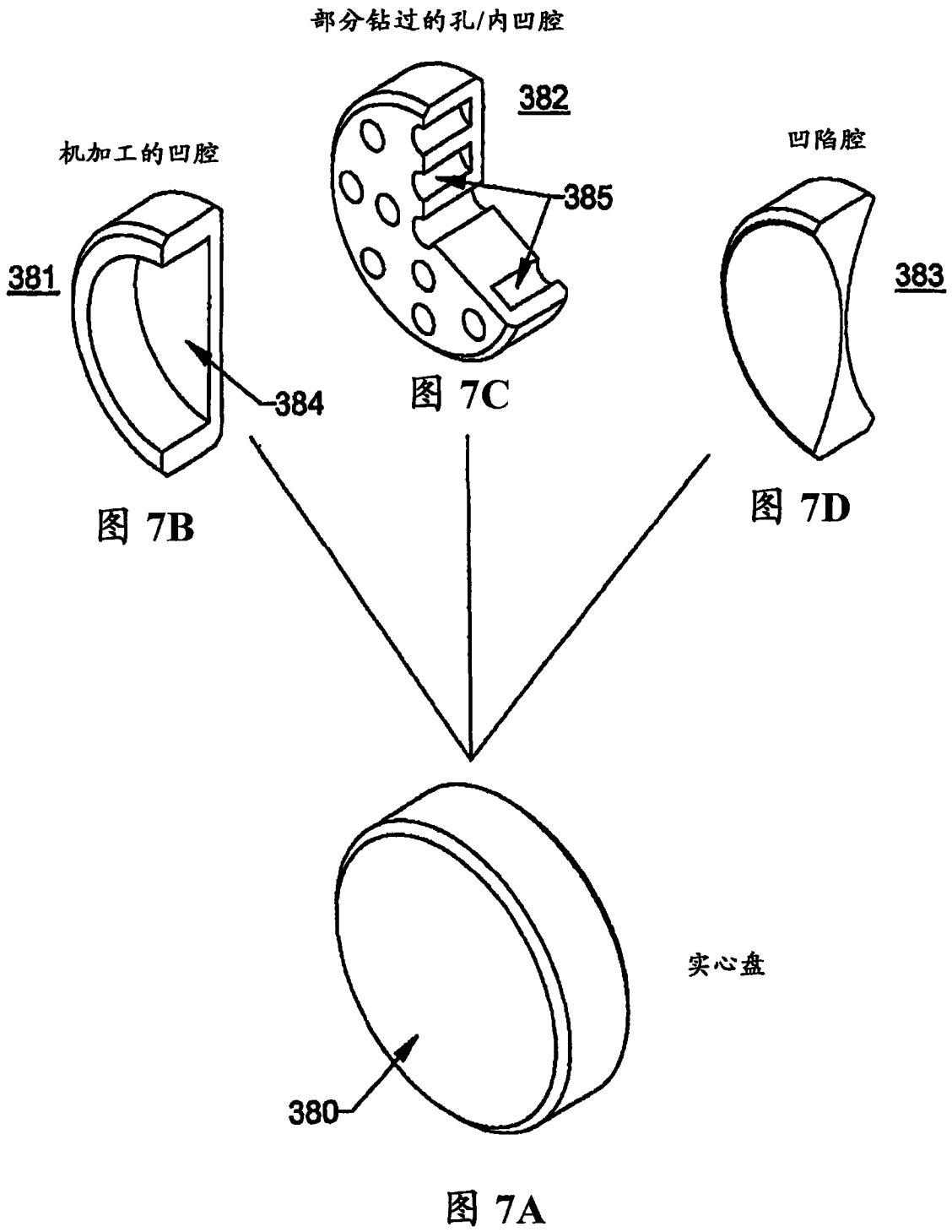


图 6



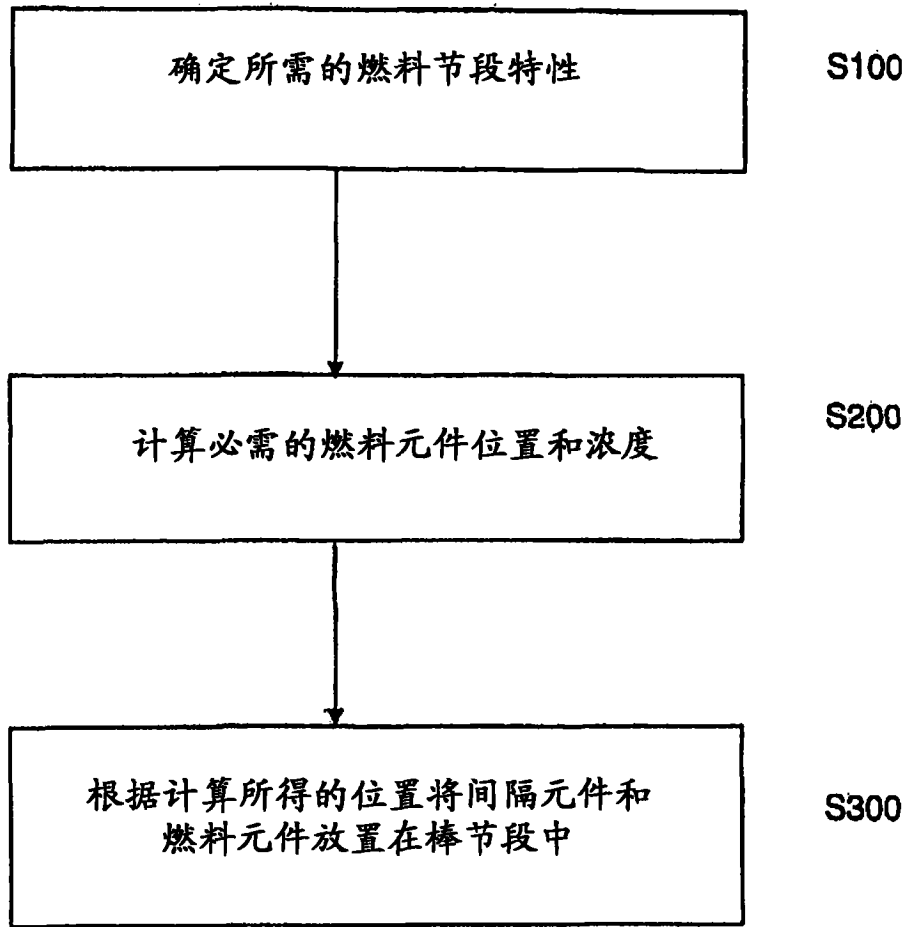


图 8