

# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00108235.3

[43]公开日 2000年11月8日

[11]公开号 CN 1272674A

[22]申请日 2000.4.30 [21]申请号 00108235.3

[30]优先权

[32]1999.5.3 [33]AR [31]P99-01-02054

[71]申请人 阿根廷国家原子能委员会

地址 阿根廷布宜诺斯艾利斯

[72]发明人 P·C·弗洛里多 R·O·西里梅洛

J·E·波加洛 A·C·马里诺

D·O·布拉斯纳洛夫

D·F·德尔马斯特洛

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

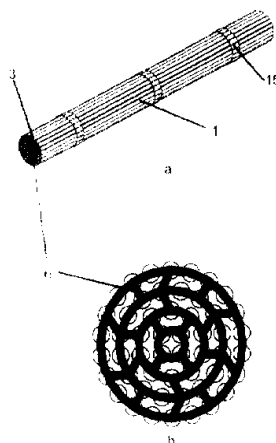
代理人 曾祥凌

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图页数 7 页

[54]发明名称 适用于具有冷却管道的不同核电站的模块式燃料元件

[57]摘要

可通过组件系统而适用于具有水平与垂直冷却管道的不同核电站的模块式核燃料元件。此模块为一簇安装成圆形同心冕状体的平行燃料芯棒阵列并由结构系统支承,各燃料芯棒为单一直径而传热面积对芯棒横向面积之比大于330。此模块具有自支承的燃料元件隔栅,通过少于13个焊接端柱塞装附于可塌倒的包壳上。芯棒数大于43。模块长度是与换料机可匹配的最大长度,以减少因结构终端造成的水力限值并能通过提供具有较大冷却区的燃料元件使之均衡。



ISSN 1008-4274

## 权 利 要 求 书

1. 适用于具有冷却通道的不同核电站的模件式燃料元件，它包括一簇安装成圆形的同心冕状体的平行燃料芯棒并由结构系统所支承，可以用于具有水平管道的上述核电站，它具有柱形条或柱形燃料芯棒阵列，此阵列设置成能使传热面积对燃料芯棒横向面积（都按每单位长度定义）之比高于 330，而这些柱形燃料芯棒具有单一的直径。
2. 权利要求 1 所述的模件式燃料元件，其中所述传热面积对芯棒横向面积之比大于 360。
3. 权利要求 1 或 2 所述的模件式燃料元件，其中所述燃料元件的长度是与换料机可匹配的最大长度。
4. 权利要求 3 所述的模件式燃料元件，其中所述燃料元件的长度大于 0.5m 而小于或等于约 1.0m。
5. 权利要求 1、2、3 或 4 所述的模件式燃料元件，还包括自支承的燃料元件隔栅，这些隔栅是通过少于 20 个焊接的端部柱塞连接于它们的可塌倒的包壳，而其中间纵向位置则没有焊接到包壳上。
6. 权利要求 1、2、3、4 或 5 所述的模件式燃料元件，其中所述焊接端部柱塞的个数少于 13。
7. 权利要求 1、2、3、4、5 或 6 所述的模件式燃料元件，它适用于不同的带管道的核电站，其中所述燃料芯棒的个数大于 43，而其单一直径小于 11mm。
8. 权利要求 7 所述的模件式燃料元件，还包括 52 根平行的燃料芯棒，它们排列成四个同心环，这种排列结构包括三个自支承的隔栅，以刚性和挠性的燃料芯棒垫固定它们的相对位置。
9. 权利要求 1、2、3、4、5、6、7 或 8 所述的模件式燃料元件，其中将轴承垫焊接到所述自支承隔栅上，以在用于水平管道核电站对于燃料管道上提供支承点。
10. 权利要求 1、2、3、4、5 或 6 所述的模件式燃料元件，其中所述模件式燃料元件可用于具有重水垂直管道的核电站，并且有设在这些模件间的可拆卸连接系统，此种连接件可与所述燃料元件的总长相适应。
11. 权利要求 10 所述的模件式燃料元件，其中所述连接系统在端板之间提供了接合介质，还能使若干个燃料元件结合到一起形成较长

的燃料元件。

12. 权利要求 10 所述的模件式燃料元件，其中所述连接系统为一外部体，通过连接若干所述燃料模件而形成较长的燃料元件。

13. 权利要求 10 所述的模件式燃料元件，其中所述连接系统具有  
5 内部接合件能用于另一个所述燃料模件而于此形成较长的燃料元件。

14. 权利要求 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12 或 13 所述的模件式燃料元件，其中所含燃料材料组合体具有不同的铀和/或钚同位素浓缩物以及/或者任何其他的核燃料（锕系元素、核毒物、裂变产物或来自其他核反应堆的燃料）。

# 说明书

适用于具有冷却管道的不同  
核电站的模块式燃料元件

5 本发明涉及模块式核燃料元件，它可以适用于组件系统而得以用于具有冷却管道的不同核电站。这种模块是按同心圆环安装的一簇平行的燃料芯棒且由一结构系统支承。此组件系统然后就使之有可能安排一组具有一定长度和可接受的液压损耗的燃料元件。

10 作为本发明的第一种应用，必须指出能把这些模块逐一应用于具有水平燃料管道的加压重水堆的可能性。这时的燃料元件仅仅支承于这些管道内，且一一相继地放置成完成所需长度。作为另一种应用，也能组装起若干个模块而把它们用于具有垂直燃料管道的加压重水堆。

15 尽管阿根廷的各核电站有着相似的（物理）原理，具有重水冷却的燃料管道，但它们都有着两种完全不同的设计，特别是对于燃料元件而言。当前用在 Embalse 和 Atucha I 两个核电站中的燃料元件设计属于阿根廷国家原子能委员会。这些设计包括在本说明书中，它们是正申请专利权的燃料元件的本发明的先驱并代表着先有技术水平。用于这两种申请中的燃料是天然铀，因而有关（置换）燃烧从而是热机  
20 学的要求小于 8000Mwd/Ton  $UO_2$ 。

图 1(a) 与 1(b) 分别示明了 Embalse 核电站（卧式）的燃料元件的侧视图与透视图。称此元件为燃料元件 1 (FE1)。在图 2(a) 与 2(b) 中，示明了 Atucha I 核电站（立式）的正视图和横剖图。此第二  
25 种文件称作燃料元件 2 (FE2)。

FE1 是一组共 37 根柱形管或锆锡合金包壳 1，它们取薄壁形式，得以在正常作业时塌倒到二氧化铀燃料芯块 2 上。各个包壳在两端由塞子 3 密封，由此而形成燃料芯棒。在套上还焊接有称作支承垫 4 的刚性附件用来对燃料管道提供支承以及称作隔热 5 的另外的垫用来避免各个套作相对位移。为了保持这簇燃料芯棒定位，在这组芯棒阵列  
30 各端装附有格栅 6。

图 2(a) 与 2(b) 中示明了 FE2。此燃料元件有 37 根不塌倒的芯棒，它们通过上端接附于支承板 7 上，支承板 7 与一组 6 根管或下部棒 8

相连，而这些下部棒又连接到中间环 9 上。在此环上安装着三个不锈钢棒或上部棒 10，它们与以上端支承整个这样一种系统的连接件（连接体）11 结合。为了把它们紧固到燃料管道上，设置了刚性垫 12 和挠性垫 13。这簇燃料芯棒由位于中间纵向位置的若干相邻同心环所构制的自支承隔栅 14 保持到一起。这些隔栅 14 沿横向将芯棒固定并将整簇棒紧固到一起。这样就能提供较大的机械强度而得以经受住因取竖立位置而有的机械要求。

在所述两个核电站 Atucha I 和 Embalse 中，燃料管道也是不同的。前一个核电站的燃料管道内径大于后一个的。Embalse 的燃料管道是水平的，燃料元件由支承垫支承于压力反应堆容器上；而 Atucha I 的燃料管道是垂直的，燃料元件从压力反应堆容器的上盖上垂下。

虽然这两个核电站都采用的是加载换料，但它们所更换的燃料元件数与长度是不同的。在 Embalse，由总数超过 12 个的燃料元件构成 6 米长的管道，一次更换两个燃料元件。这样就允许它们沿轴向作更换。相反，在 Atucha I 则不允许作这样的轴向改换（倒料），这里的放射性部分是一个 5.25m 长的燃料元件。

燃料元件的设计是反应堆布置中的一个基本步骤，主要是在中子、热水力学与热机学现象中作出折衷处理。简单地说，当燃料质量增加，中子性能将会改进，这是因为燃料原子中产生的中子有较大的几率在另一个原子中产生裂变。相反，为了改进热水力学与热机学性能，则最好是减少燃料质量同时布散开燃料元件（亦即显著地增大冷却剂的传输区与流动性，同时减小芯棒的直径）。应该指出，要是这簇燃料元件更广泛地布散开（芯棒的直径更小）来增大传热面积，则会出现与上述现象相反的趋势，与此同时将保持燃料质量（更多的燃料芯棒）。这时由于会有较大的液压限制而减少了冷却剂的流量，结果便会减小核电站的热水力学安全限值。

设计用于现代有管道的核电站的新的燃料元件时，应用时提高上述三方面的要求。但是，管道中的燃料质量与水力损失必须保持住而得以不干扰堆芯中的中子通量分布以及冷却剂的流动。这样在芯体中就会出现几种燃料元件，而它们在例行置换中的渐次更换则不会扰乱反应堆的作业时间与作业。

在第一种燃料元件（FE1）中，传热面积对芯棒横向面积之比约为

300; 而在第二种燃料元件 (FE2) 中, 这一比值为 313; 在第三种燃料元件中, 这一比例则为 327。由此可知, 利用先前的设计是不能实现大于 330 的较高的比值的。

5 要用简单设计出的高性能燃料元件来适应现代不同核电站时, 为了解决这样的问题, 应同时保持中子与水力的可匹配性以及各个核电站的换料机的可匹配性。但是, 前述传热面积对芯棒横向面积之比则必须改进以求得高于 330 的值。于此同时, 也必须提高热水力学与热机学的安全限值, 以由浓缩铀求得较大的燃耗。

10 新近已提出将一种称作为燃料元件 3 (EF3) 的新型燃料元件用于具有水平管道的核反应堆。采用了两种不同的燃料芯棒直径, 同时保持着第一种燃料元件 (FE1) 的相同长度以能满足前述要求。这种设计, 与 FE1 的相比, 将燃料与冷却剂的交换面积加大了 5.4%, 但是, 保持了管道中水力限制。不过, 与 FE1 相比, 进一步减少了燃料质量; 因此, 前述的问题并未完全解决。在保持焊接到包壳的隔垫的同时, FE3  
15 具有更易塌倒的燃料棒, 因而包壳上有更多的焊接处, 这就减弱了机械强度。另一方面, 这种燃料元件的组份有较大的变化, 因为这种元件与其他元件一起需要两种不同的包壳、芯块、燃料元件与塞子。

应用这里所述的本发明的燃料元件与组件系统, 可以消除上述缺点, 同时与先前的燃料元件 (FE1、FE2 与 FE3) 相比, 显著地改进了  
20 中子、热水力学与热机学性能。冷却剂的面积加大了, 而燃料芯棒的直径减小了, 与此同时, 还能保持住较致密的燃料元件 (FE1) 的质量, 在此情形下, 此燃料质量等于第一种燃料元件的质量, 分别比第二种和第三种燃料元件高 21% 与 10%。至于与冷却剂的接触面积, 则分别比 FE1、FE2 与 FE3 高 20%、18% 与 12%。但当上述的值达到时, 则  
25 能保持两方面的反应堆运转。

这一正申请专利权的燃料元件对热机学的要求减少了, 这是由于有较小的芯块直径和较大量的燃料棒, 因而可有较低的作业温度。此外, 通过采用自支承的隔栅而不是焊接到包壳上的附件, 这样就能避免  
30 因焊接导致燃料芯棒机械性质的退化变质。例如与第一种燃料元件相比, 包壳上的焊接点数减少了 12 倍, 而这会成为能增加这种阵列结构的燃耗的因素之一。此外, 将本发明的新型的自支承隔栅安装到可倒芯棒上, 就能紧固整个阵列。从机械观点考虑, 这是很方便的, 因

为它能同于 FE2 中的情形，使此阵列包括在以一端悬挂的垂直管道内。

这种特征用于本发明的燃料元件组件系统中，能提供较长的燃料模件，同时通过调节模件间的不对称方位角提供合乎要求的液压损耗。这样，这种燃料元件组就能方便地用于具有垂直管道和更有限的压力损失 5 的核反应堆，如同 Atucha 1 的情形。

本发明的主要目的在于获得这样的模件式燃料元件，它所具有的传热面积对芯棒横向面积之比高于 330 且约等于 364。

本发明的第二目的在于获得这样的模件式燃料元件，它与现下的设计水平相比，将提高热水力学与热机学的安全限值与损耗。同时， 10 它将保持管道中的燃料质量与总的水力限制，特别是在具有水平管道的核电站中能提供可塌陷的单一直径的燃料芯棒阵列。

本发明的第三个目的（同样具有现下的设计水平作为参考）在于减少焊接点数，不仅在燃料包壳中，还在各个结构部件上，这样就能简化制造过程。

15 本发明的再一个目的是使燃料元件能适用于具有较长垂直燃料管道和较低水力限制的核电站。这种燃料元件通过模件式燃料元件的组件系统只以其一端连接，从而使它们能够重新利用并改进其损耗。

为了实现上述各目的，利用了某些非常新颖的改进。在这些改进措施中，可以指出的是，通过减少相邻元件之间的结构终端而使燃料 20 模件的长度最大化（加倍），从而能在各个具有管道的核电站中获得与换料机的适配性。这样就能减少管道的结构元件中的液压损失。这方面的改进使得新的芯棒阵列的结构具有相同的燃料质量和更广布散的布局（更多个较小直径的芯棒）。结果能使沿着芯棒的压力损失增加均衡化（由于有较大的换热面积），而可以减少结构部件。这样， 25 通过保持冷却剂流和增大其传输面积，就能减少单位面积的热通量（表面热通量）和提高热力学安全限值。此外，要是存在有更大的较小直径的燃料芯棒，则燃料芯块中的线性功率密度和温度差都会下降。因此，热机学的性能得以改进（这就减少了热膨胀、裂变气体释放以及燃料芯块与包壳间的机械相互作用/反应），同时能显著延长损耗。此 30 外，新加入自支承隔栅与可塌倒芯棒（具有 3.2% 的低的厚度/直径比），可在作业中大大减少包壳中的焊接点数（提高热机学的安全限值）而有利于将此燃料元件用于垂直管道。结构部件的个数与质量当水平管

道的燃料长度是现下相应长度的 2 倍时也可以减小。例如与先有设计相比，每单位长度上焊接到端板上的塞子数减少了 30%，端板数减少了 50%，等等。这最后的两个端点简化了制造过程，例如在燃料芯棒制造中便只涉及到较少的几个步骤。

5 于是可以推断，要是保持燃料质量与水力限制，则燃料元件的分散程度乃是业已完成的设计的决定性参数。对此，还可以加上以下规定：在燃料与冷却剂之间的传热面积对芯棒阵列横向面积之比的情形，这两种面积是由管道中每单位长度上的相应值确定的。事实上，在那些保持住所封装的燃料质量的燃料元件中，建议使传热面积最大而使  
10 燃料阵列的横向面积最小（当结构的终端数减少了时，通过采用可塌缩的薄包壳同时加大放射性部分），这是由于这可以减少热通量同时将加大冷却剂面积。因此，最好是获得这样设计的燃料元件，在保持管道中液压损失的情形下，使上述面积关系比具有较高的值。本发明的新颖燃料元件的前述传热面积对横向面积之比高于 330，大致等于  
15 364。把这些值与分别为 300、313 与 327 的 FE1、FE2 与 FE3 的比较时，可以先有设计水平在这种面积关系中是不可能获得高于 330 的比值的。

在具有垂直管道的核电站的情形，如果采用具有若干个模件的组件系统，就能实现以单一端部支承的较长燃料元件。此外，采用所设计的这种组件系统，还能固定相邻模件间的不对称方位角并可使所述  
20 燃料元件适用于具有不同液压损失的冷却剂管道。要是这些模件完全排成一行，则管道中的液压损失将减少到 Atucha I 中求得的值。

当与先有设计比较时，总的结果是所述燃料元件与组件系统具有以下优点：

- 25 可以提高热机学与热力学的安全限值；
- 可将能耗拓广到 35000Mwd/Ton UO<sub>2</sub>；
- 压力损失可适应不同管道的反应堆；
- 可以保持住现下最致密燃料元件（FE1）的密度；
- 与立式和卧式管道反应堆的换料机有适配性；
- 30 通过采用单一直径的燃料元件和减少包壳上的焊接点数，可以减少结构部件数与制造步骤。

根据本发明，设计了一种单一直径的燃料芯棒阵列，它能满足先前所述各方面的考虑而且是先有设计未能改进到的。这种模件是安装

成四个紧致同心环的一簇 52 个平行燃料芯棒（它只是众多不同的可能阵列中之一）。它借助结构系统安装到设在两端的一对格栅以及在中间轴向部分具有刚性和挠性隔件的自支承隔栅上。在这些隔件或此组件系统上还焊接有挠性与刚性垫，以使这种燃料元件固定到管道上。

5 下面结合附图进行详述以便更好地阐明本发明。

图 3(a)与 3(b)分别是本发明结构的透视图和侧视图。燃料元件是一组铍锡合金的可塌倒包壳 1，它们的两端经塞子 3 焊接到端板 6 上。此燃料元件的总长正好是两个 FE1 或 FES 相加的结果。低液压损失的自支承隔栅 15 安装成分开这些燃料棒。

10 在图 4(a)、(b)与(c)中，示明了一个隔栅的侧视图与主视图。此隔栅包括支承结构 16，上面装附有用来将包壳保持就位的刚性隔件 17 与挠性隔件 18。在具有水平通道的核电站中，这些管道设定于已焊接在外支承结构的若干个垫 19 之上，而各隔件的轴向位置则为芯棒上少于 13 个柱塞的焊接部固定。

15 FE2 的放射性部分（包含有燃料芯块的部分）比本发明的燃料模件长，后者还由于它有垂直的管道而与 Embalse 的核电站的不同，在 Atucha I 中，在燃料元件装到芯体内时将其组装，把五个燃料模件类似于以前所述的一个沿轴向连接起。

20 组装上述五个燃料元件有多种可能的方法。如图 5 所示，这些模件可以由外带 20 紧固。在此情形下，将五个燃料元件叠加到一起并把它们于下端连接到低液压柱塞 21 上。在其另一端有一带有弹簧的中间连接系统 22 将这些模件结合成整体。还有一个与现下 FE2 设计中类似的连接件（体），以保证在其与也包括在管道上部的前述中间体的适配性。此中间连接体的特征是具有低的液压损失。在这种外部带上还  
25 设有混合翅片。这种组装形式能便于芯体外熔池中未完全燃烧的燃料元件沿轴向重新定位。刚性或挠性隔件 23 可以装附到前述带上或 Atucha I 中管道的隔栅上。在图 5 中概示了上面大略说明的一种燃料模件。图中示明了此种外部带、在下端的柱塞以及中间连接系统与连接体。

30 另一种紧固燃料模件的方法是把低液压损失的配合件或配合体设在端板格栅之间或绕它们设置。图 6 中示明了燃料元件的一端和位于格栅 24 之间的配合体。在此情形下，燃料元件的包壳将会成为整个组件的支承件，这是因为包壳是焊合到格栅之上的。配合体装附到组件

的一端之上，而在格栅与中间低液压损失连接件之间则在另一端有配合体，如同在 FE2 中的情形。

具有窗口或孔 25 的外支承管则是用来结合燃料元件的第三种形式（参看图 7）。业已有这样的设计，它能支承所有在一起的燃料元件，同时能使冷却剂松快地循环通过燃料元件与管道。于此同时，能够减慢平均的冷却剂流率，从而能使压力损失均衡。所述的窗口或孔口能提供有形的空间，此空间大到当燃料管与管道之间的间隙不足以容纳固定的和挠性的垫的不正常情形，可让这种垫件置于其中。柱塞和带有配合系统与连接体的中间连接机构装附于燃料管的两端，其形式类似于前面对外带所述的情形。

再有一种紧固燃料模件的方法是采用一或若干个内部芯棒，通过利用产生最小功率的部分或通过改变一或多根燃料芯棒，可给整个组件增强刚性。这种情形下的最佳选择是把模件置于此组件的中心，而这是具有最小线性功率密度的部分，因而它的冷却本领是不过载的。这种燃料芯棒的一端装有柱塞而在另一端设有低液压损失配合机构以将此组件保持到一起。在此配合机构上安装有连接体，有如现有的 FE2 设计。

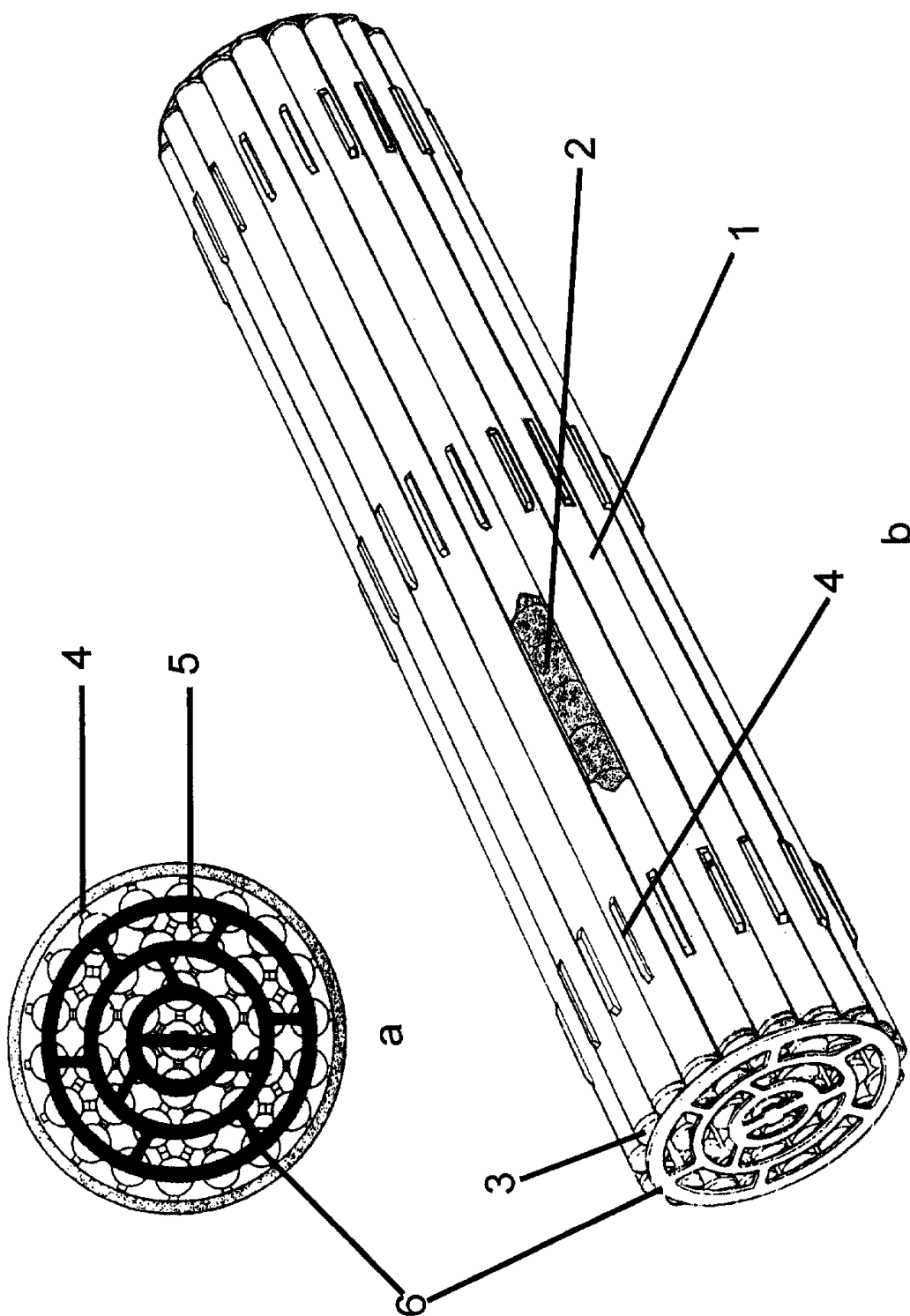


图 1 现有技术

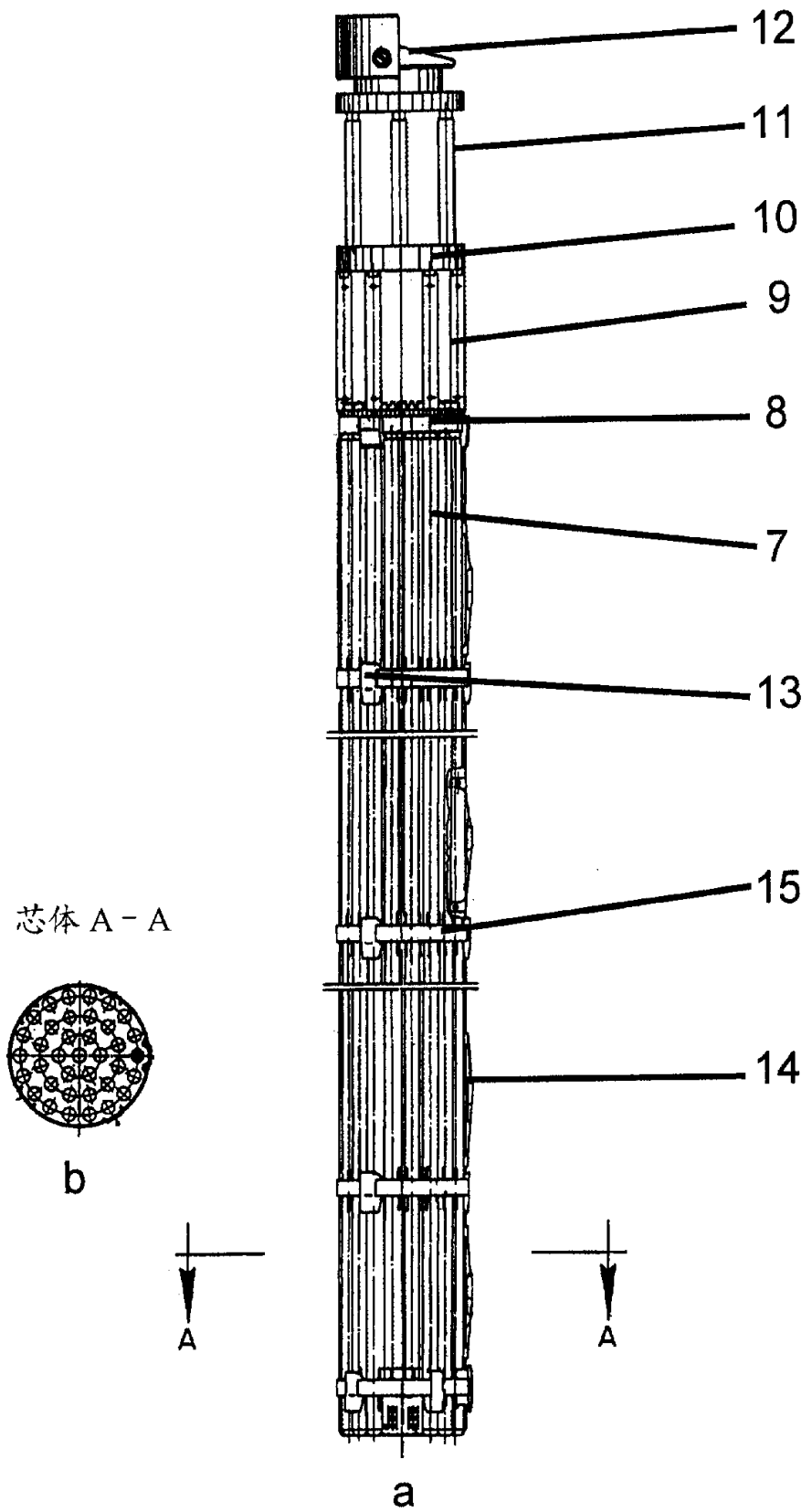


图 2 先有技术

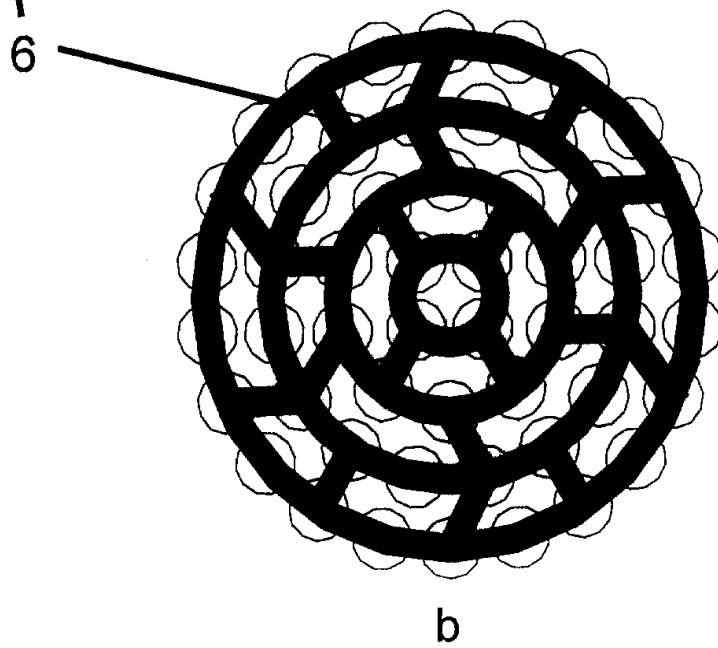
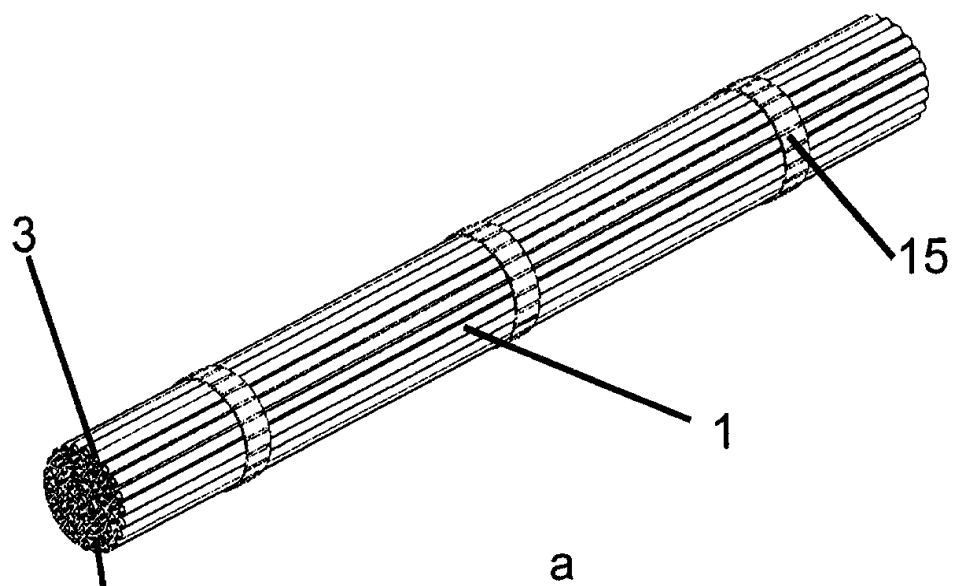


图 3

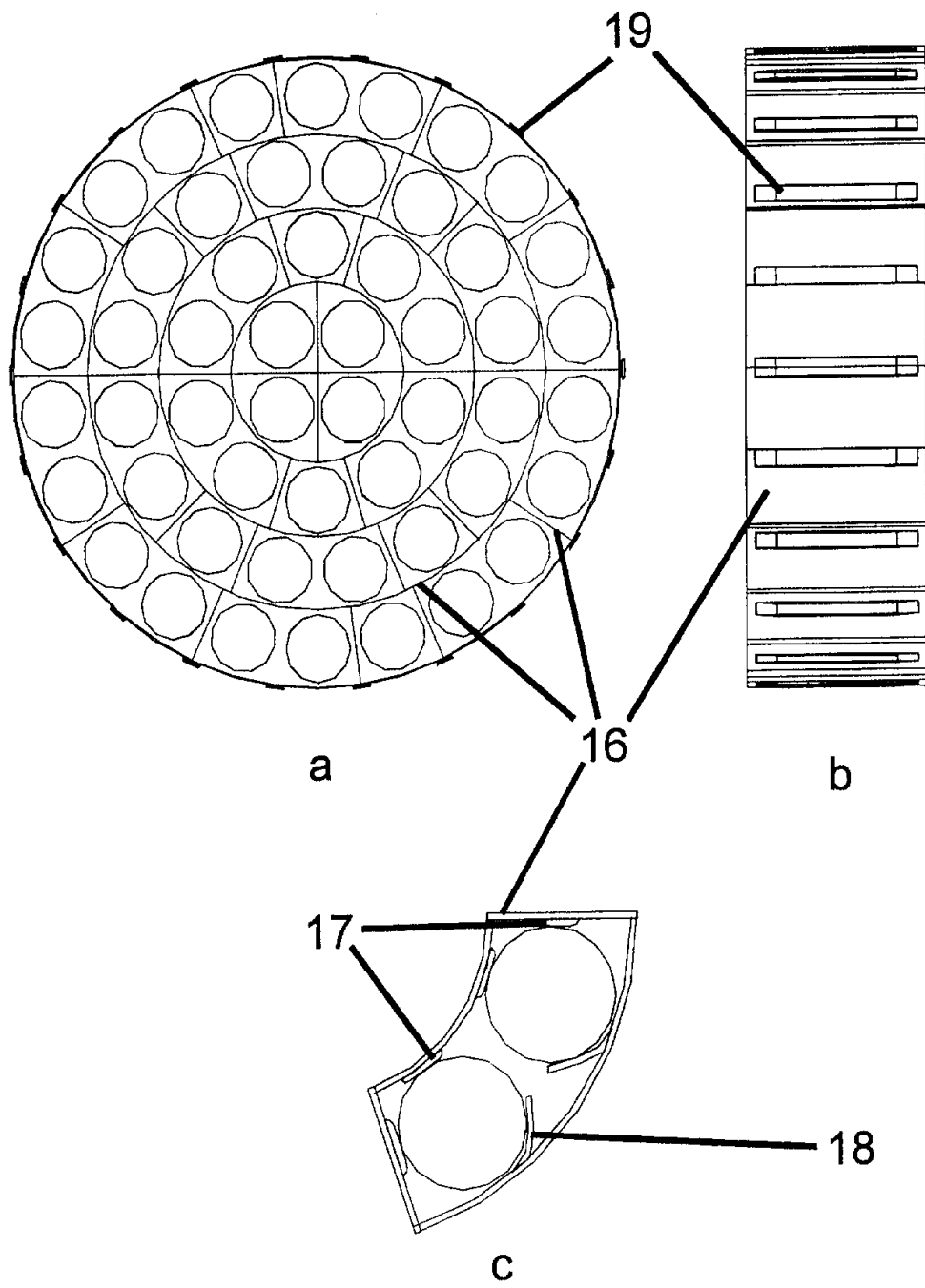


图 4

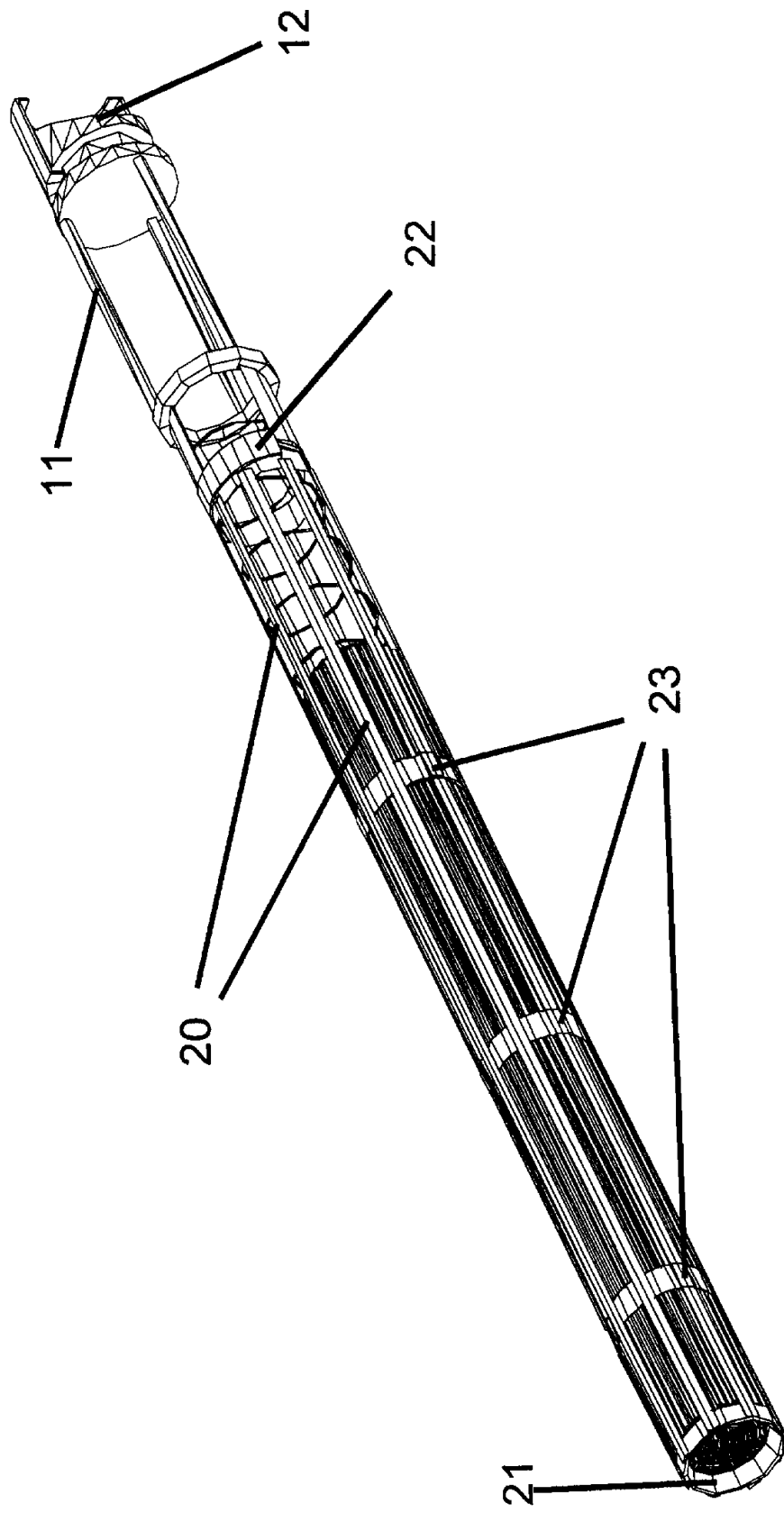


图 5

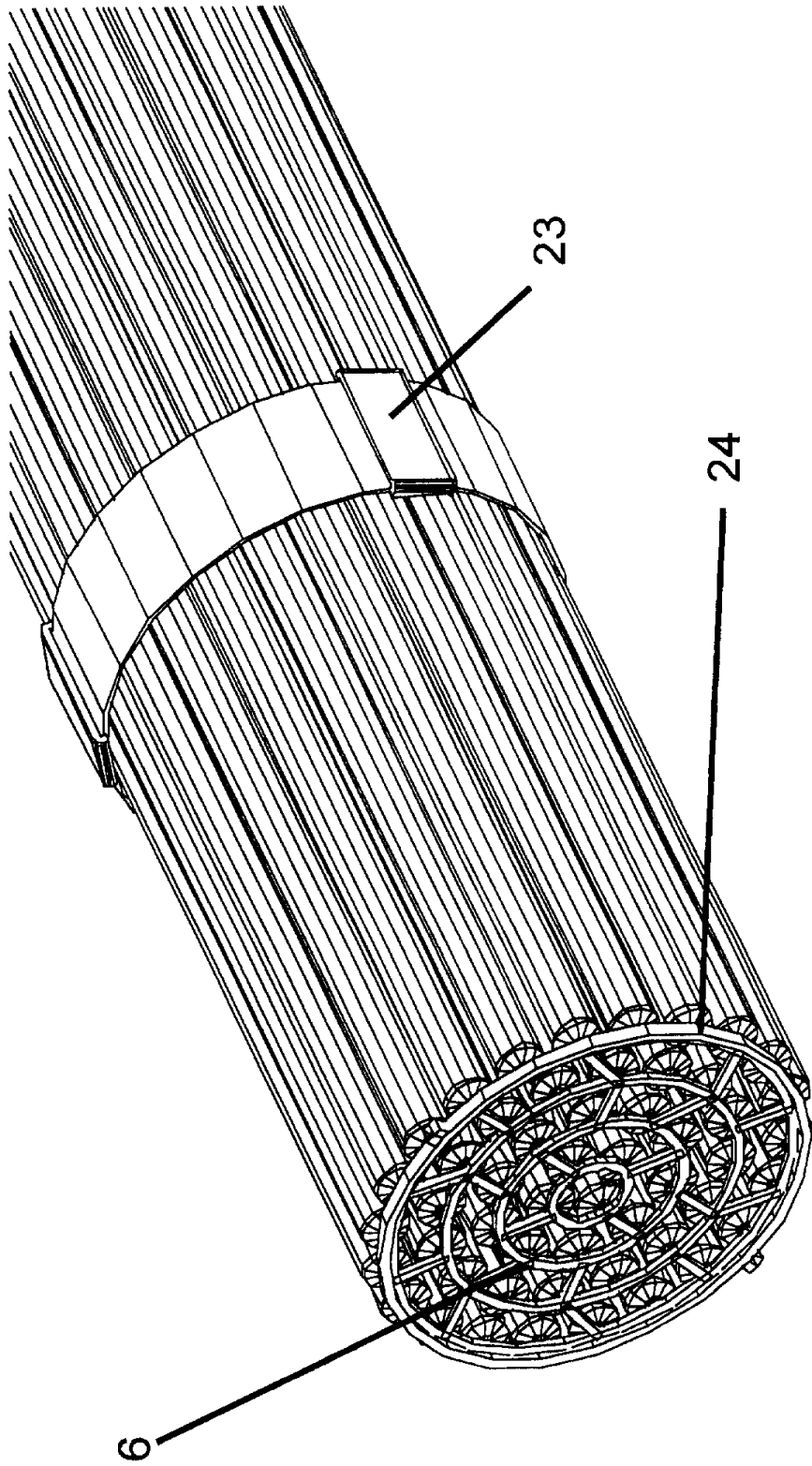


图 6

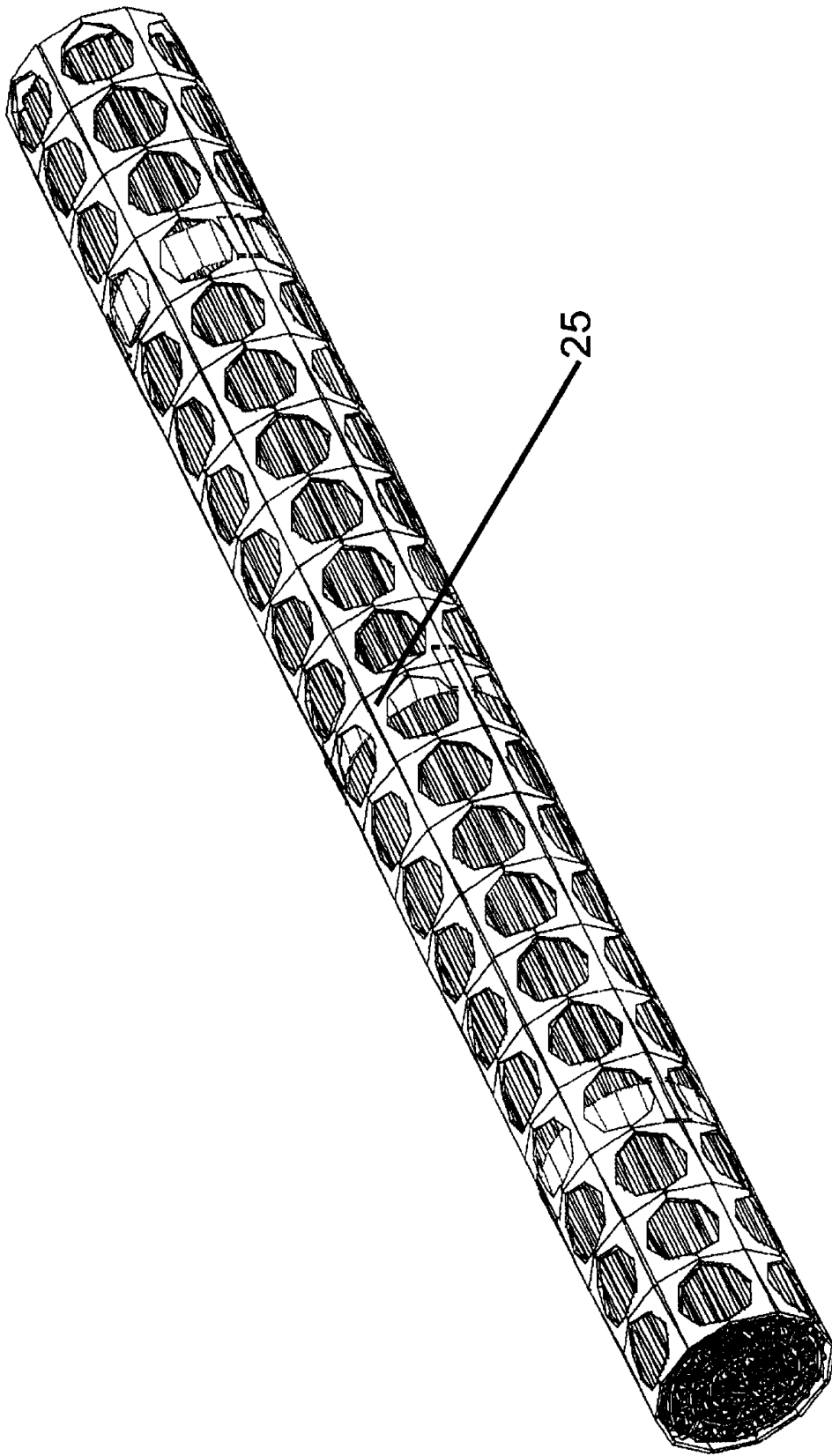


图 7