



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115307463 A

(43) 申请公布日 2022. 11. 08

(21) 申请号 202210488187.9

F28F 9/00 (2006.01)

(22) 申请日 2022.05.06

(30) 优先权数据

2104813 2021.05.06 FR

(71) 申请人 原子能与替代能源委员会

地址 法国巴黎

(72) 发明人 泽维尔·让宁格罗斯 J·格罗斯

J·塞尔 S·文森特

莱昂内尔·卡乔恩

(74) 专利代理机构 北京同达信恒知识产权代理

有限公司 11291

专利代理师 黄志华 何月华

(51) Int. Cl.

F28D 9/00 (2006.01)

F28F 3/08 (2006.01)

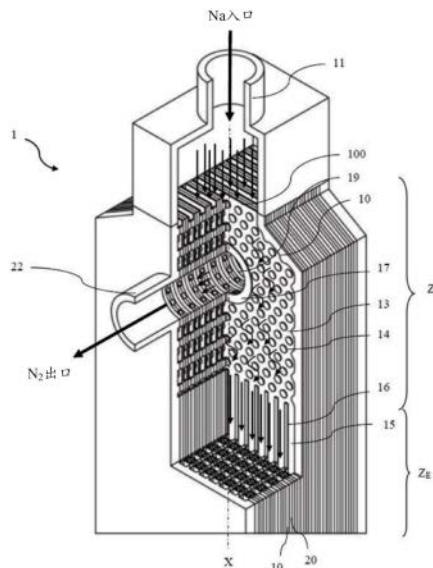
权利要求书2页 说明书10页 附图21页

(54) 发明名称

包括具有至少一个由柱形成的流体供应和分配区的通道的板型热交换器模块

(57) 摘要

本发明涉及一种包括具有至少一个由柱形成的流体供应和分配区的通道的板型热交换器模块。该热交换器模块(1,1')具有至少两个流体回路,且具有纵向轴线为(X),并且包括限定至少两个流体回路的板的堆叠体(10,20;10',20'),每个板的至少一部分包括流体循环通道,两个回路中的称为第一回路的至少一个回路的通道具有:-用于从所述堆叠体外供应和分配流体的至少一个流体供应和分配区(Z_H),该流体供应和分配区形成流体预集管,在该流体供应和分配区中,通道(13)由分布在板的表面上的柱(14,14')界定;-与所述预集管连续的交换区(Z_E),在该交换区中,每个通道由凹槽(15)界定,该凹槽由肋部(16)相互隔开并沿纵向轴线(X)延伸。



1. 一种具有至少两个流体回路的热交换器模块(1,1'),所述热交换器模块具有纵向轴线(X),并且包括限定至少两个流体回路的板的堆叠体(10,20;10',20'),每个板的至少一部分包括流体循环通道,所述两个回路中的称为第一回路的至少一个回路的通道具有:

-用于从所述堆叠体外供应和分配流体的至少一个流体供应和分配区(Z_H),所述流体供应和分配区形成流体预集管,在所述流体供应和分配区中,通道(13)由分布在所述板的表面上的柱(14,14')界定;

-与所述预集管连续的交换区(Z_E),在所述交换区中,每个通道由凹槽(15)界定,所述凹槽由肋部(16)相互隔开并沿所述纵向轴线(X)延伸,

其中,所述两个回路中的称为第二回路的另一个回路的通道具有:

-用于从所述堆叠体外供应和分配流体的至少一个流体供应和分配区(Z_H),该流体供应和分配区形成流体预集管,在该流体供应和分配区中,通道(23)由分布在所述板的表面上的柱(24,24')界定;

-与该预集管连续的交换区(Z_E),在该交换区中,每个通道由凹槽(25)界定,所述凹槽由肋部(26)相互隔开并沿所述纵向轴线(X)延伸。

2. 根据权利要求1所述的热交换器模块,包括两个第一回路预集管,每个第一回路预集管布置在所述堆叠体的纵向端部之一处,所述两个第一回路预集管中的一个形成流体入口预集管,另一个形成流体出口预集管。

3. 根据权利要求1所述的热交换器模块,包括两个第二回路预集管,每个第二回路预集管布置在所述堆叠体的纵向端部之一处,所述两个第二回路预集管中的一个形成流体入口预集管,另一个形成流体出口预集管。

4. 根据权利要求1所述的热交换器模块,其中,所述第一回路和/或第二回路的柱(14,24)是实心的。

5. 根据权利要求1所述的热交换器模块,其中,所述第一回路和/或所述第二回路的柱(14',24')是开孔的并且是端部开口的,以便允许所述第一回路的供应和分配区的板的通道之间的连通但不与所述第二回路的供应和分配区的板的通道连通,或允许所述第二回路的供应和分配区的板的通道之间的连通但不与所述第一回路的供应和分配区的板的通道连通。

6. 根据权利要求1所述的热交换器模块,其中,所述热交换器模块包括至少在所述堆叠体的纵向端部中的一个纵向端部处通向所述堆叠体的横向基板的流体集管(11,12),所述第一回路预集管的通道而不是所述第二回路预集管的通道通向所述基板。

7. 根据权利要求6所述的热交换器模块,包括在所述纵向端部中的一个纵向端部处的形成第一回路入口集管(11)的流体集管、以及在所述纵向端部中的另一个纵向端部处的形成第一回路出口集管(12)的流体集管。

8. 根据权利要求1所述的热交换器模块,其中,所述热交换器模块包括至少在所述堆叠体的一个横向侧上的流体集管(21,22),所述流体集管(21,22)与所述纵向轴线(X)成横向地穿过所述堆叠体并通向所述第二回路预集管的第二通道而不是所述第一回路预集管的通道。

9. 根据权利要求8所述的热交换器模块,其中,所述热交换器模块包括至少在所述堆叠体的同一个横向侧上的形成第二回路入口集管(21)的流体集管和形成第二回路出口集管

(22)的流体集管。

10. 根据权利要求1所述的热交换器模块,其中,所述柱以交错配置以三角形图案均匀分布在所述预集管的板的表面上。

11. 根据权利要求1所述的热交换器模块,其中,所述柱以矩形或正方形图案均匀地分布在所述预集管的板的表面上。

12. 根据权利要求1所述的热交换器模块,其中,所述柱的整体形状为圆柱形。

13. 根据权利要求1所述的热交换器模块,其中,所述第一回路和所述第二回路的交换区的通道(15,25)是直的、相互平行的并且平行于所述纵向轴线(X)延伸。

14. 根据权利要求1所述的热交换器模块,其中,所述堆叠体由金属板制成,所述金属板通过热等静压(HIP)或单轴热压(UHP)相互组装在一起以获得所述金属板之间的扩散焊接,或者通过钎焊相互组装在一起,或使用增材制造来生产。

15. 根据权利要求1所述的热交换器模块,其中,所述第一回路的板至少在所述堆叠体的中心部分插入到所述第二回路的两个板之间。

16. 一种包括多个根据权利要求1所述的热交换器模块(1.1,1.2,1.3)的热交换器。

17. 根据权利要求16所述的热交换器,其中,根据权利要求7所述的热交换器模块并排布置,第二回路入口集管和第二回路出口集管穿过所述热交换器模块并横向连接所述热交换器模块。

18. 一种根据权利要求16所述的热交换器的用途,所述第一回路的流体,作为初级流体,是液态金属,而所述第二回路的流体,作为次级流体,是气体或气体混合物。

19. 根据权利要求18所述的热交换器的用途,其中,所述第二回路的流体主要包含氮气并且所述第一回路的流体是液态钠。

20. 根据权利要求18所述的热交换器的用途,其中,所述第一回路的流体或所述第二回路的流体来自核反应堆。

21. 一种核设施,包括:液态金属快中子反应堆,特别是钠快速反应堆SFR或钠冷却的FNR;以及包括多个根据权利要求1所述的热交换器模块的热交换器。

包括具有至少一个由柱形成的流体供应和分配区的通道的板型热交换器模块

技术领域

[0001] 本发明涉及具有堆叠的金属板的热交换器模块,该热交换器模块包含至少两个流体回路。

[0002] 本发明更具体地涉及普通类型的热交换器模块的创建,用于改进各种内部流体循环通道的分布的均匀性,同时确保良好的热效率和令人满意的热机械载荷,并且这样做不会损害模块的紧凑性。

[0003] 已知的热交换器包括至少两个具有内部流体循环通道的回路。在具有一个单回路的交换器中,热交换在回路和回路浸入其中的周围流体之间进行。在具有至少两个流体回路的交换器中,热交换在两个流体回路之间进行。

[0004] 进行连续过程的化学反应堆是已知的,其中少量共反应物在优选配备有混合器的第一流体回路的入口处同时注入,并且所获得的化学产物在所述第一回路的出口处被回收。在这些已知的化学反应堆中,一些反应堆包括第二流体回路,通常称为实用回路,其功能是通过供应反应所需的热量或另一方面通过去除从其释放的热量来对化学反应进行热控制。这种具有两个具有实用功能的流体回路的化学反应堆通常被称为交换反应堆。

[0005] 本发明涉及仅具有热交换功能并包含两个流体回路的热交换器模块的创建,并且同样涉及交换反应堆的创建。因此,在本发明的上下文中,“具有至少两个流体回路的热交换器模块”应被理解为意指仅具有热交换功能的热交换器模块,或者等同地是交换反应堆。

[0006] 根据本发明的在两种流体之间进行交换的交换器模块的主要用途是其与作为两种流体之一的气体一起使用。两种流体可以有利地是液态金属和气体,例如液态钠和氮气。

[0007] 根据本发明的交换器模块预期的主要应用是用于来自二级回路的液态金属(例如液态钠)与作为液态金属冷却的快中子反应堆的三级回路的气体的氮气之间的热交换,所述液态金属冷却的快中子反应堆例如钠快速反应堆SFR或钠冷却的FNR,其形成所谓的第四代反应堆家族的一部分。

[0008] 根据本发明的热交换模块也可以在需要在两种流体(例如液体和气体)之间进行交换的任何其他应用中实施,优选地当需要紧凑且具有高热功率的交换器时。

[0009] 在本发明的上下文中,“初级流体”具有其在热力学中的通常含义,即是将其热量传递给作为冷流体的次级流体的热流体。

[0010] 相比之下,在本发明的上下文中,“次级流体”具有热力学中的通常含义,即是初级流体的热量被传递到的冷流体。

[0011] 在主要应用中,初级流体是在SFR的热转换循环的所谓二级回路中循环的钠,而次级流体是在所述循环的三级回路中循环的氮气。

背景技术

[0012] 已知的管式交换器例如是壳管式交换器,其中一束直管或U形弯管或螺旋缠绕管固定到穿孔板上并放置在称为壳的流体密封外壳内。在这些壳管式交换器中,一种流体在

管内循环,而另一种流体在壳内循环。这些壳管式换热器体积大,因此一点也不紧凑。

[0013] 现有的所谓板式热换热器比现有的所谓管式换热器具有显著优势,特别是在热性能和紧凑性方面,这要归功于有利的高热交换表面积与体积比。紧凑型板式换热器用于许多工业领域。在紧凑型板式换热器领域,已经开发了许多定义热交换图案的基本形状。

[0014] 首先可以提及的是包含翅片的板式换热器,其中热交换图案由翅片界定的结构限定,该结构附接在两个金属板之间并且能够具有非常不同的几何形状。交换图案在交换器的两个流体回路中的一个和另一个之间可能不同。金属板之间的组装通常是通过钎焊或扩散焊接实现。

[0015] 波浪形或波纹板式换热器也是已知的。通过压制分隔两个流体回路的片材来形成波浪形波纹。因此,两个流体回路中的每一个的换热器图案都是相同的。

[0016] 这种类型的交换图案产生的流体流是三维的,因此表现非常好。板之间的组装可以通过螺栓连接或外围焊接(常规焊接或扩散焊接)进行。

[0017] 最后,具有加工槽的板式换热器是已知的,加工是机械加工或电化学加工。由加工操作定义的通道具有毫米级的横截面,通常是连续的,具有均匀的锯齿形轮廓。板通过允许在两个相邻板之间的所有接触点处进行焊接的扩散焊接来组装。因此,这种加工开槽板式换热器本质上非常能够承受压力。

[0018] 在创建所谓的第四代反应堆家族的核反应堆的背景下,即在用于在出色的传热流体、即液态金属(通常是液态钠(Na))与具有显著较差的传热性能的流体、即气体(通常是氮气(N₂))之间进行热交换的配置中,本发明的一些发明人设计了一种具有堆叠板模块的换热器,用于气体和液态金属之间的热交换。

[0019] 专利申请W02015/028923A1因此描述并要求保护一种热换热器,其中热交换模块布置在压力容器的内部并且通过气体的压力(通常在大约180巴)通过支撑和保持结构刚性地固定到压力容器,而液态金属分配管道不固定到该支撑结构。

[0020] 在该设计中,流体密封容器用作气体回路的收集器,并且热换热器模块的尺寸被设计成首要由气体驱动,因为在两种流体中,气体在传热方面效率最低。

[0021] 鉴于气体循环通道的交换图案的尺寸严格取决于热液(thermos-hydraulic)性能约束,液态金属循环通道的尺寸需要考虑与液态金属循环相关的堵塞风险,这限制了该液体的循环通道的最小横截面。当还考虑气体和液态金属之间的物理特性,特别是密度的差异时,所得到的换热器模块在液态金属循环通道中表现出非常低的压降,通常约为40mbar。

[0022] 此外,为了紧凑,每个换热器模块具有约几十兆瓦时(MWth)的单独热功率,这与尺寸设计规则一起规定了模块需要具有非常大量的流体循环通道,通常等于5000个左右。

[0023] 另一个需要考虑的约束来自于每个模块都布置在由气体加压的容器内的事实。

[0024] 在操作中,由集管和分配管道组成的供应和收集液态金属的结构可能会在高压下承受压缩载荷,如果没有特殊的预防措施,这可能会因蠕变屈曲而导致损坏。此外,从热机械的角度来看,这些结构需要设计得尽可能紧凑。

[0025] 换言之,根据前述申请W02015/028923A1,由气体加压的容器内的热换热器模块的配置使每个模块需要非常大量的并且非常紧凑的通道。

[0026] 这种配置可能导致液态金属在每个换热器模块内的通道中分布不均匀,这可能一方面对换热器的整体热效率有害,另一方面对换热器的结构的热机械完整性有害。

[0027] 事实上,发明人所面临的换热器模块功能需求规范可以总结如下:

[0028] -确保在稳态和瞬态中在压力和温度下的机械完整性;

[0029] -确保热交换通道之间的流的均匀分布,同时保持对额外压降的控制;

[0030] -显示低热惯性,以限制快速瞬变期间的热应力幅度;

[0031] -与各种模块布置兼容(并联/串联、可堆叠等),以满足与流体回路中的流速和压力兼容的功率目标。

[0032] 流动分布差的特点是某些热交换通道被过多供应,而牺牲了某些其他通道。

[0033] 为了确保令人满意的分布,申请人公司在专利FR3054879B1中提出了一种解决方案,该解决方案涉及在上游或下游连续性的交换区中创建分叉区,在该专利中称为Z3。概括地说,在恒定流速下,通过为给定入口创建四个分叉,孔截面减少到四分之一,通道束的压降增加了16倍。因此,该解决方案提供了主要快速向通道束增加压降的优点,但这也可能成为缺点。这就是为什么为了调节分布同时最小化额外的压降,专利FR3054879B1还提出了均化区,在该专利中称为Z1。以位于进入口下方的格栅的方式,该均化区破坏了射流的影响,并使同一流体回路的通道和板相互连通,以平衡压力。这个均化区的好处是它直接包含到板的设计中。均化区不是附加元件,其附接可能与热机械载荷不兼容。该专利FR3054879B1中的区域引用Z1、Z2和Z3形成一种预集管(pre-header)。

[0034] 该专利FR3054879B1的改进是创建具有轴对称性的板,均化区对称地布置在板的纵向轴线的每一侧,如图1A和图1B中所示的用于SFR核反应堆交换器应用中的分别循环液态钠和气体的板。因此钠循环板10包括在轴向入口100和轴向出口200处具有分叉的均化区Z1、以及在这两个区Z1之间具有直线的直通道的热交换区Z2。气体循环板20同样包括均化区Z1和热交换区Z2,均化区Z1同样具有两个入口200和两个出口201在其上开口的分叉,热交换区Z2同样在这两个区Z1之间具有直线的直通道,板20的该区Z2具有与板10相同的长度。这种改进在公开物[1]中有所描述。通过这种改进,板10、20的整体热惯性得到改进,并且可以堆叠热交换模块,这在体积方面是有利的。

[0035] 尽管如此,这种配置仍然有许多其余的缺点。

[0036] 首先,由均化区Z1组成的预集管的布置意味着流体到达交换通道的延续部分,在钠循环板的情况下是轴向的,在气体循环板的情况下是横向于纵向轴线的。现在,在许多应用中,特别是在SSR应用中,特别希望能够将入口定位在交换模块的表面上,以便在模块外部更容易地运行循环管道,特别是通过最小化所述管道的长度。

[0037] 此外,为了在保持对压降的控制的同时改进分布,省去非常快速地增加这些压降的分叉将是有利的。

[0038] 最后,通过这种配置,最终仍然存在热惯性区域,如图1B中虚线Z.I中的圆圈所表示的那样,减少这些区域将是有利的。

[0039] 因此,仍然需要进一步改进板式热交换器模块,特别是以便简化流体在模块外部循环的管道,减少模块内的压降,以及进一步减少热惯性区,并且这样做的同时保留将模块相互堆叠的可能性。

[0040] 本发明的目的是解决这种需要。

发明内容

[0041] 为了做到这一点,本发明涉及一种具有至少两个流体回路的热交换器模块,所述热交换器模块具有纵向轴线(X),并且包括限定至少两个流体回路的板的堆叠体,每个板的至少一部分包括流体循环通道,两个回路中的称为第一回路的至少一个回路的通道具有:

[0042] -用于从堆叠体外供应和分配流体的至少一个流体供应和分配区(Z_H),该流体供应和分配区形成流体预集管,在该流体供应和分配区中,通道由分布在板的表面上的柱界定;

[0043] -与预集管连续的交换区(Z_E),在该交换区中,每个通道由凹槽界定,所述凹槽由肋部相互隔开并沿纵向轴线(X)延伸。

[0044] 根据一个有利的实施方式,模块包括两个第一回路预集管,每个第一回路预集管布置在堆叠体的纵向端部之一处,两个第一回路预集管中的一个形成流体入口预集管,另一个形成流体出口预集管。

[0045] 根据另一个有利的实施方式,两个回路中的称为第二回路的另一个回路的通道具有:

[0046] -用于从堆叠体外供应和分配流体的至少一个流体供应和分配区(Z_H),该流体供应和分配区形成流体预集管,在该流体供应和分配区中,通道由分布在板的表面上的柱界定;

[0047] -与预集管连续的交换区(Z_E),在该交换区中,每个通道由凹槽界定,所述凹槽由肋部相互隔开并沿纵向轴线(X)延伸。

[0048] 根据该实施方式,模块有利地包括两个第二回路预集管,每个第二回路预集管布置在堆叠体的纵向端部之一处,两个第二回路预集管中的一个形成流体入口预集管,另一个形成流体出口预集管。

[0049] 根据第一有利实施方式的变型,第一回路和/或第二回路的柱是实心的。

[0050] 根据第二有利实施方式的变型,第一回路和/或第二回路的柱是开孔的并且是端部开口的,以便允许第一回路的供应和分配区的板的通道之间的连通但不与第二回路的供应和分配区的板的通道连通,或允许第二回路的供应和分配区的板的通道之间的连通但不与第一回路的供应和分配区的板的通道连通。

[0051] 根据一个有利的实施方式,模块至少在堆叠体的纵向端部之一处包括通向堆叠体的横向基板的流体集管,第一回路预集管的通道而不是第二回路预集管的通道通向该基板。

[0052] 根据该实施方式,模块有利地包括在纵向端部中的一个处的形成第一回路入口集管(11)的流体集管、以及在纵向端部中的另一个处的形成第一回路出口集管的流体集管。

[0053] 根据另一有利的实施方式,该模块至少在堆叠体的一个横向侧上包括流体集管,该流体集管与轴线(X)成横向地穿过堆叠体并通向第二回路预集管的第二通道而不是第一回路预集管的通道。

[0054] 根据该实施方式,该模块有利地包括至少在堆叠体的同一个横向侧上,形成第二回路入口集管的流体集管和形成第二回路出口集管的流体集管。

[0055] 根据替选配置,柱以交错配置以三角形图案均匀分布在预集管的板的表面上。

[0056] 根据另一替选方案,柱以矩形或正方形图案均匀地分布在预集管的板的表面上。

- [0057] 作为进一步的优选,柱的整体形状为圆柱形。
- [0058] 作为进一步的优选,第一回路和第二回路的交换区的通道是直的、相互平行的并且平行于纵向轴线(X)延伸。
- [0059] 有利地,堆叠体由金属板制成,这些金属板通过热等静压(HIP)或单轴热压(UHP)相互组装在一起以获得金属板之间的扩散焊接,或者通过钎焊相互组装在一起,或使用增材制造来生产。
- [0060] 根据一个有利的配置,第一回路的板至少在堆叠体的中心部分插入到第二回路的两个板之间。
- [0061] 本发明还涉及一种包括多个如上所述的热交换器模块的热交换器。
- [0062] 根据有利的配置,上述模块并排布置,第二回路入口集管和第二回路出口集管穿过模块并横向连接模块。
- [0063] 本发明还涉及如上所述的热交换器的用途,第一回路的流体,作为初级流体,是液态金属,而第二回路的流体,作为次级流体,是气体或气体混合物。
- [0064] 在一个变型中,第二回路的流体主要包含氮气并且第一回路的流体是液态钠。
- [0065] 第一回路的流体或第二回路的流体可以来自核反应堆。
- [0066] 本发明还涉及一种核设施,该核设施包括:液态金属快中子反应堆,特别是钠快速反应堆SFR或钠冷却的FNR(称为钠的SNR);以及包括多个如上所述的交换器模块的热交换器。因此,本发明主要在于生产具有堆叠的板或通过增材制造生产的板的交换器模块,其中流体回路之一的至少一个预集管被生产为具有柱,这些柱分布在板表面上,并且对流体在到达其热交换区之前在其中循环的通道进行界定。
- [0067] 这些柱确保板在压力下的完整性,同时具有低的热惯性。
- [0068] 柱确保流体的均匀分布,同时最小化压降的增加,并且这样做与热交换区的通道的几何形状无关。
- [0069] 可以根据需要修改这些柱的几何形状和分布,以便根据预期应用及其约束,特别是在温度和压力方面控制流体的分布。
- [0070] 预集管中的柱密度也可以变化。
- [0071] 通过根据本发明的柱代替根据专利FR 3054879B1的分叉,本发明因此消除了如图1B所示的热惯性区Z.I。
- [0072] 此外,根据本发明的柱使得可以在模块的一个相同纵向面上形成具有流体入口和出口的精细交换器模块几何形状,以获得模块的并排布置并最小化模块之间的管道的长度。
- [0073] 使用根据本发明的交换器模块可以设想所有需要热交换器或蒸汽发生器的应用,包括所有类型的核反应堆(第三代、第四代、SMR(小型中型反应堆))、城市供热网络、EHT电解器、石油和天然气行业、太阳能行业、化学行业等。
- [0074] 通过参考以下附图阅读通过说明性和非限制性示例给出的详细描述,进一步的优点和特征将变得更加明显。

附图说明

- [0075] 图1A是根据现有技术的热交换器模块的具有液态钠循环通道的板的视图,该热交

换器模块旨在用于SFR反应堆。

[0076] 图1B是具有根据图1A的钠循环板的交换器模块的气体循环通道的板的视图。

[0077] 图2是根据本发明的热交换器模块的纵向侧视图。

[0078] 图3是根据图2的交换器模块的正面视图。

[0079] 图4A是根据本发明的第一备选方案的交换器模块的局部剖切透视图,图4A示出了液态钠在专用通道板内的循环。

[0080] 图4B是根据本发明的第一备选方案的交换器模块的局部剖切透视图,图4B示出了通常为 N_2 的气体在专用通道板中的循环。

[0081] 图4C是图4A的详细视图,示出了液态钠和气体循环板在它们的均化区的区域中的交替堆叠。

[0082] 图5是根据本发明的第一备选方案的具有液态钠循环通道的板的正面视图。

[0083] 图5A是根据图5的板的局部透视图。

[0084] 图6是根据本发明的第一备选方案的具有气体循环通道的板的正面视图。

[0085] 图6A是根据图6的板的局部透视图。

[0086] 图7A是根据本发明的第二备选方案的交换器模块的局部剖切透视图,图7A示出了液态钠在专用通道板内的循环。

[0087] 图7B是根据本发明的第二备选方案的交换器模块的局部剖切透视图,图7B示出了通常为 N_2 的气体在专用通道板内的循环。

[0088] 图7C是图7A的详细视图,示出了液态钠和气体循环板在它们的均化区的区域中的交替堆叠。

[0089] 图8是根据本发明的第二备选方案的具有液态钠循环通道的板的正面视图。

[0090] 图8A是根据图8的板的局部透视图。

[0091] 图9是根据本发明的第二备选方案的具有气体循环通道的板的正面视图。

[0092] 图9A是根据图9的板的局部透视图。

[0093] 图10是示出了根据本发明的通道板的柱在规则三角形图案中的交错分布的正面详细视图。

[0094] 图11是示出了根据本发明的通道板的柱在规则正方形图案中的分布的正面详细视图。

[0095] 图12A是根据液态钠输送变型的交换器模块的局部剖切透视图,图12A示出了液态钠在专用通道板内的循环。

[0096] 图12B是根据液态钠输送变型的交换器模块的局部剖切透视图,图12B示出了气体在专用通道板中的循环。

[0097] 图13是示出根据本发明的若干交换器模块的有利布置的示意图。

[0098] 图14示出了数值模拟,该数值模拟显示了特别是在形成根据本发明的用于九个 N_2 循环板的堆叠体的预集管的均质区中的流体流动。

[0099] 图15示出了数值模拟,该数值模拟显示了特别是在形成根据本发明的用于十个Na循环板的堆叠体的预集管的均质区中的流体流动。

具体实施方式

[0100] 为了清楚起见,根据现有技术和根据本发明,相同的元件由相同的附图标记表示。

[0101] 需要强调的是,贯穿本申请,术语“入口”、“出口”、“上游”、“下游”应根据流体在根据本发明的热交换模块中循环的方向来理解。

[0102] 与现有技术相关的图1A和图1B已经在前文中进行了评论。因此,下文将不再评论它们。

[0103] 图2和图3描绘了根据本发明的具有两个流体回路的热交换器模块的实施方式,其作为示例用于液态钠(Na)和氮气(N₂)之间的交换。

[0104] 模块1由交替堆叠的金属板10、20组成,这些金属板10、20通过熔焊相互组装、优选地使用HIP技术相互组装,或者通过增材制造来生产。

[0105] 如在这些图中可见,该模块1沿中心轴线(X)延伸,包含两个集管11、12,它们分别是液态钠(Na)入口和出口,集管11、12之一沿轴线X布置在模块顶部,另一个也沿模块的轴线X布置,但布置在底部。如下文详述的,集管11、12中的每一个通向板的堆叠体的横向基板,Na回路的通道通向该基板,但N₂回路的通道不通向该基板。

[0106] 模块1还包括两个集管21、22,它们分别是氮气(N₂)入口和出口集管,布置在同一个纵向面上,分别位于模块的底部和模块的顶部。如下文详述的,这些入口集管21和出口集管22中的每一个与X轴线成横向地穿过堆叠体并且通向N₂回路的通道而不通向Na回路。

[0107] 在这样的模块1中,流体(Na、N₂)的循环因此是逆流循环。

[0108] 图4A和图4B示出了堆叠体以及Na循环板10和N₂循环板20内的相应循环,箭头表示每个相关板中每种流体的循环。

[0109] 图5、图5A示出了钠循环板10。

[0110] 板10包括两个供应和分配区Z_H,每个供应和分配区Z_H形成流体预集管,这些流体预集管被布置在热交换区Z_E的每一侧上。

[0111] 根据本发明,预集管Z_H的通道13由分布在板表面上的实心圆柱形柱14界定。作为优选,如图4A、图5和图5A所示,实心圆柱形柱14以交错配置均匀分布在预集管的板表面上。更具体地,这种交错分布是在预集管Z_H的板10的整个表面上保持相同的三角形图案。三角形图案的分布允许柱14更好地填充预集管的体积并且是优选的以确保交换器模块承受压力的能力。

[0112] 由实心圆柱形柱14界定的通道13通向与预集管连续的热交换区Z_E的通道15。如图所示,交换区的通道15各自由凹槽15界定,凹槽15由边缘16相互隔开并沿纵向轴线(X)延伸。作为优选,如图所示,通道15是直的、相互平行的并且平行于模块1的纵向轴线(X)延伸。

[0113] 柱14的高度可以使得它们直接靠在板20上。如图4C所示,还可以设想两个相邻的板10具有圆柱形柱14,圆柱形柱14的高度代表通道13的高度的一部分,并且一旦板相互组装,圆柱形柱14就限定了通道的总高度。肋部16也是如此。柱14的布置确保了板10承受压力的能力。

[0114] 环17围绕圆形截面的两个孔18、19中的每一个延伸,每个孔都通向预集管之一内的板10。这些端部开口的孔18、19形成另一个N₂回路的相应入口和出口循环集管的管的一部分。因此,环17在板10的预集管区域中的Na回路和N₂回路之间形成流体密封屏障。

[0115] 通过这样的板10,如图4A部分所示,液态钠从入口管状集管11供应以从由柱14界

定的通道13的入口11分配。液态钠在通道13中围绕入口预集管的柱14循环到达热交换区 Z_E 的通道15,然后围绕出口预集管的柱14循环,通过通道13的出口101去除并由出口集管12回收。

[0116] 图6、图6A示出了以与Na循环板10类似的方式生产的 N_2 循环板20。

[0117] 因此,板20包括两个供应和分配区 Z_H ,每个供应和分配区 Z_H 都形成流体预集管,并且布置在热交换区 Z_E 的每一侧上。

[0118] 预集管器 Z_H 的通道23由分布在板表面上的侧面圆柱形柱24界定。作为优选,如图4B、图6和图6A所示,实心圆柱形柱24以交错配置均匀分布在预集管的板表面上。再次,这种交错配置是在预集管 Z_H 的板20的整个表面上保持相同的三角形图案。三角形图案的分布允许柱24更好地填充预集管的体积并且是优选的,以确保交换器模块承受压力的能力。

[0119] 由实心圆柱形柱24界定的通道23通向与预集管连续的热交换区 Z_E 的通道25。如图所示,交换区的通道25各自由凹槽25界定,凹槽25由肋部26相互隔开并沿纵向轴线(X)延伸。作为优选,如图所示,通道25是直的、相互平行的并且平行于模块1的纵向轴线(X)延伸。

[0120] 柱24的高度可以使得它们直接靠在板20上。如图4C所示,还可以设想两个相邻的板20具有圆柱形柱24,圆柱形柱24的高度代表通道23的高度的一部分,并且一旦板相互组装,圆柱形柱24就限定了通道的总高度。肋部26也是如此。柱24的布置确保了板20承受压力的能力。

[0121] 两个具有圆形横截面的孔28、29各自通向预集管之一中的板20。这些端部开口的孔28、29形成另一 N_2 回路的相应入口和出口循环集管的管的一部分。

[0122] 梯形的柱27均匀地围绕每个孔28、29分布,以界定尺寸一致的入口通道200或出口通道201,因此这些通道将每个孔28、29连接到相应的入口和出口预集管 Z_H 之一。

[0123] 通过这样的板20,如图4B部分所示,氮气从入口管状集管21供应,穿过板10、20的堆叠体以分配到入口通道200中,然后进入柱24界定的通道23。氮气围绕入口预集管的柱24循环到达热交换区 Z_E 的通道25,然后在通道23中围绕出口预集管的柱24循环以通过出口通道201去除,然后由出口集管22回收。

[0124] 因此,根据本发明,柱14、24确保每种流体,即分别为液态钠和氮气的均匀分布,而与它们的热交换区 Z_E 的通道15、25的几何形状无关,并且完成所有这些同时具有低热惯性并最小化增加的压降。此外,如已经提到的,柱14、24的尺寸设计成确保承受压力的能力。通常,柱24的尺寸设计成确保承受大约180巴的氮气压力的能力。

[0125] 在图4A至图6A所示的模块的替选方案中,两个流体回路(Na、 N_2)的板10、20的柱14、24对齐,也就是说柱14的旋转轴线与柱24的旋转轴线对齐。对于每个板10或20,同一个板的柱14或24的布置为交错配置,以便使柱14、24面对热交换区 Z_E 的通道17、25。

[0126] 还可以设想偏移,换言之,柱在板的表面上的横向偏移。这种偏移允许产生被端部开口的孔穿透的柱。这种偏移伴随着从如前述替选方案所示的三角形图案分布到矩形或正方形图案分布的变化。

[0127] 在同一个表面上,当柱以矩形或正方形图案分布时,它们比以三角形图案分布时更少。因此,这削弱了承受压力的能力,但确实为柱的开孔留出了空间。

[0128] 图7A至图9A中示出了模块1'的这种替选实施方式,其中板10'、20'的柱14'、24'相应地在同一流体(Na或 N_2)回路的板10之间或20之间开有开口。

[0129] 如图7C所示,具有孔的柱14'、24'因此在预集管 Z_H 的区域中在同一个回路(Na或 N_2 回路)的板(10或20)之间产生连通,同时保持与另一回路(相应地为 N_2 或Na回路)的流体密封性。

[0130] 这种具有端部开口的孔的柱14'、24'的替选方案允许在板10'之间、板20'之间平衡流体压力。

[0131] 图10详细示出了Na回路的板10的呈由节距P1限定的等边三角形图案的柱14的替选交错配置。

[0132] 图11示出了另一种替选分布,其中柱14以由节距P2限定的正方形图案分布。

[0133] 可以为另一个回路的板20的柱24实施这些替代方案中的一个或另一个。

[0134] 在图2、图3、图4A、图4B、图7A、图7B中,位于板的堆叠体外部的相应入口和出口集管11、12的管沿纵向轴线X布置。

[0135] 也可以设想集管的管的其他布置。

[0136] 因此,图12A和图12B中示出了一种变型布置,其中设想了两个管11、12布置成正交于轴线X并且因此平行于氮气回路入口集管21和出口集管22。如图12A、图12B所示,这种布置仍然允许板10沿交换器模块1的纵向轴线被供应液态钠。

[0137] 如已经说明的,根据本发明产生具有柱14、24的预集管允许用于流体之一的入口集管21和出口集管22布置在模块1的同一个纵向面上。

[0138] 这种布置有利地促进了多个模块的相对布置并且最小化了连接这些模块的管道的长度。

[0139] 图13示出了这种交换器模块的布置的一个示例,图13描绘了三个交换器模块1.1、1.2、1.3,它们并排布置并通过氮回路入口集管的管21和出口集管的管22彼此直接连接,这些管是直线且是直的。

[0140] 发明人已经对根据本发明的交换器模块1、1'进行了机械预先尺寸设计,以在如SFR核反应堆的情况下在钠(Na)和气体(N_2)之间的热交换中使用。

[0141] Na回路和 N_2 回路中的温度和压力总结在下表1中。

[0142] [表1]

	Na循环板10	N_2 循环板20
T 入口 (°C)	530	290
T 出口 (°C)	345	515
压力 Bar	5	180

[0144] 使用通道13、23的三角形节距范围,即柱14之间、柱24之间的6mm至12mm的间距以及圆柱形柱14、24的4mm至8mm的直径进行了预先尺寸设计。

[0145] 通过由此实现的这些机械预先尺寸设计,发明人得出结论,根据本发明的交换器模块1具有良好的承受压力的能力。

[0146] 此外,通过计算流体动力学(CFD)的迭代过程,进行流体动力学研究是可能的,计算机辅助设计(CAD)可以集中于具有流体不均分布的换热器模块1的设计,即对于同一种流体,交换通道之间的流速的标准偏差在所有通道13、23、15、25中小于5%。

[0147] 图14和图15分别示出了用于9个 N_2 循环板20的堆叠体和10个Na循环板10的堆叠体的具有柱的预集管中的流动。具有这种预集管的模块1分别表现出4.0% (N_2) 和4.7% (Na) 不均分布。

[0148] 在不脱离本发明的范围的情况下,可以设想其他变型和改进。

[0149] 长方形、正方形或三角形图案的柱几何形状和节距的周期性及其分布需要根据应用结合通常的尺寸设计规则、承受压力的机械能力、压降和通道中的流体流动分布来确定。

[0150] 虽然在所有所示的示例中,所有板10和20都是使用具有柱14、24的预集管生产的,但是可以仅在单个流体回路的那些板上使用这种方法,另一个流体回路可能包括传统的预集管。

[0151] 可以设想除圆柱形柱14、24之外的形状。例如,可以设想椭圆形、泪珠形等几何形状。

[0152] 可以设想将这两种备选方案结合起来,即一个回路的板,例如附图标记为10的板,具有实心柱,而另一回路的板,例如附图标记为20的板,具有端部开口的开孔柱。

[0153] 此外,虽然在所示示例中,热交换区(Z_E)的通道是直通道,但根据本发明的预集管与该特定几何形状无关,因此可以设想热交换通道(Z_E)的其他几何形状,例如弯曲、锯齿形、双锯齿形等形状的通道。此外,不管采用何种几何形状,最终交换通道的深度决定了根据本发明的预集管的柱的高度。

[0154] 引用文献列表:

[0155] [1]:D.Plancq等人的“Status of the astrid gas power conversion system option”;HAL Id:cea-02338590;<https://hal-cea.archives-ouvertes.fr/cea-02338590>,2020年2月21日。

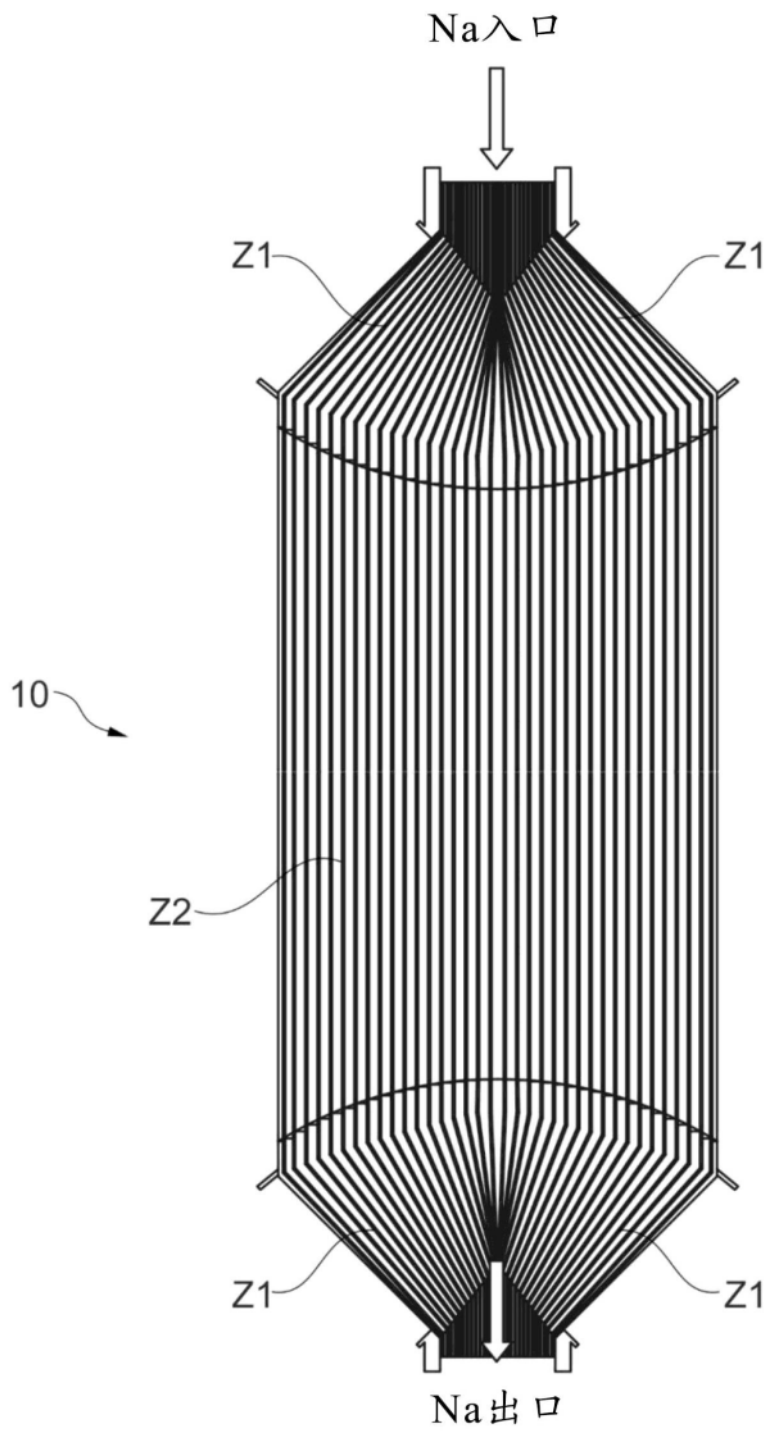


图1A

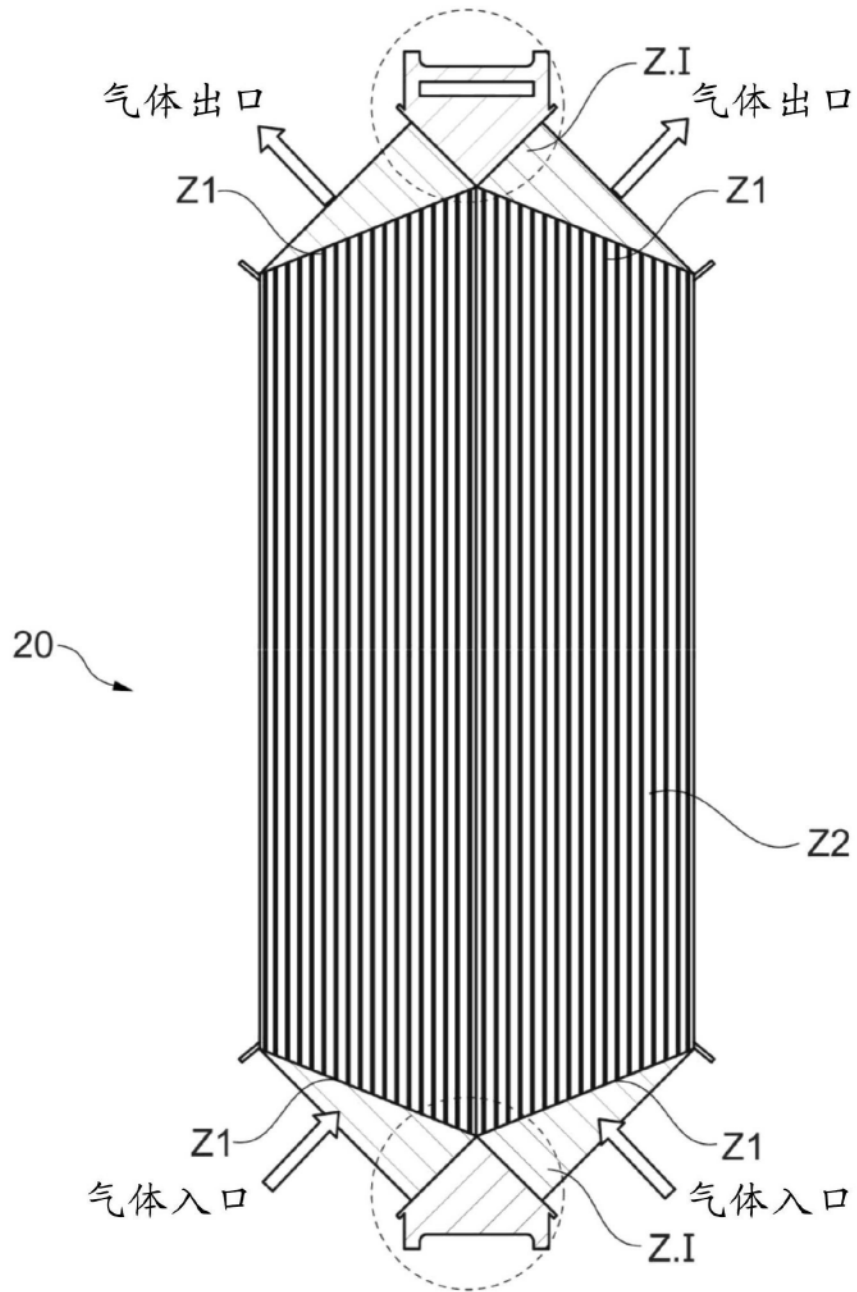


图1B

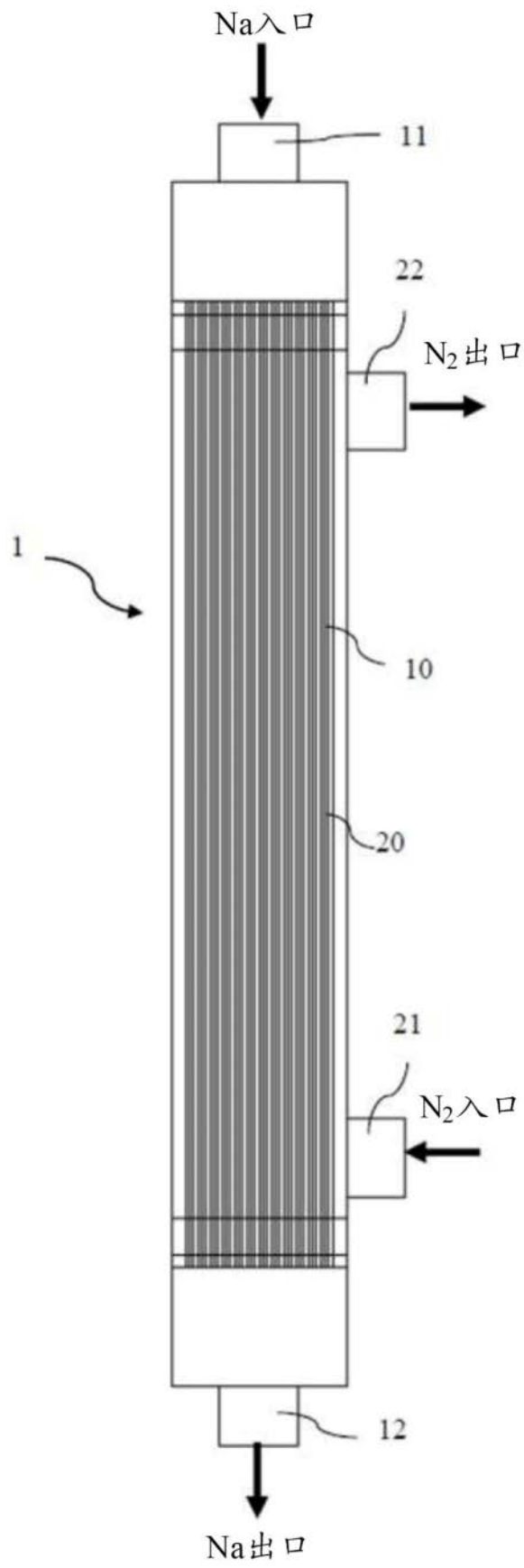


图2

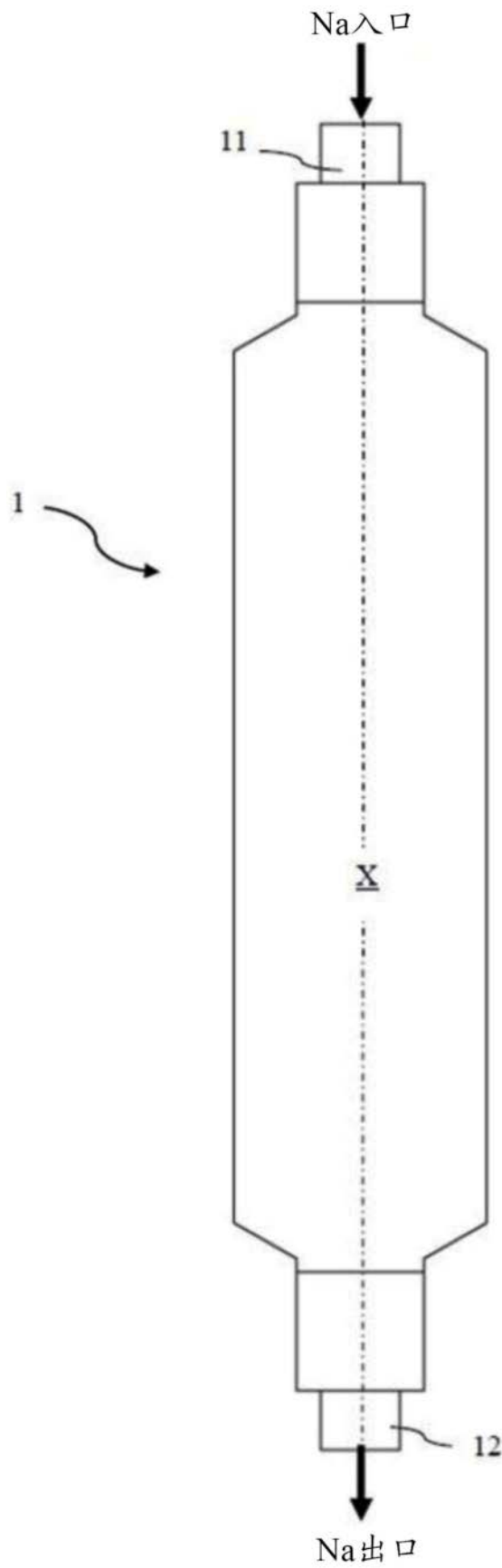


图3

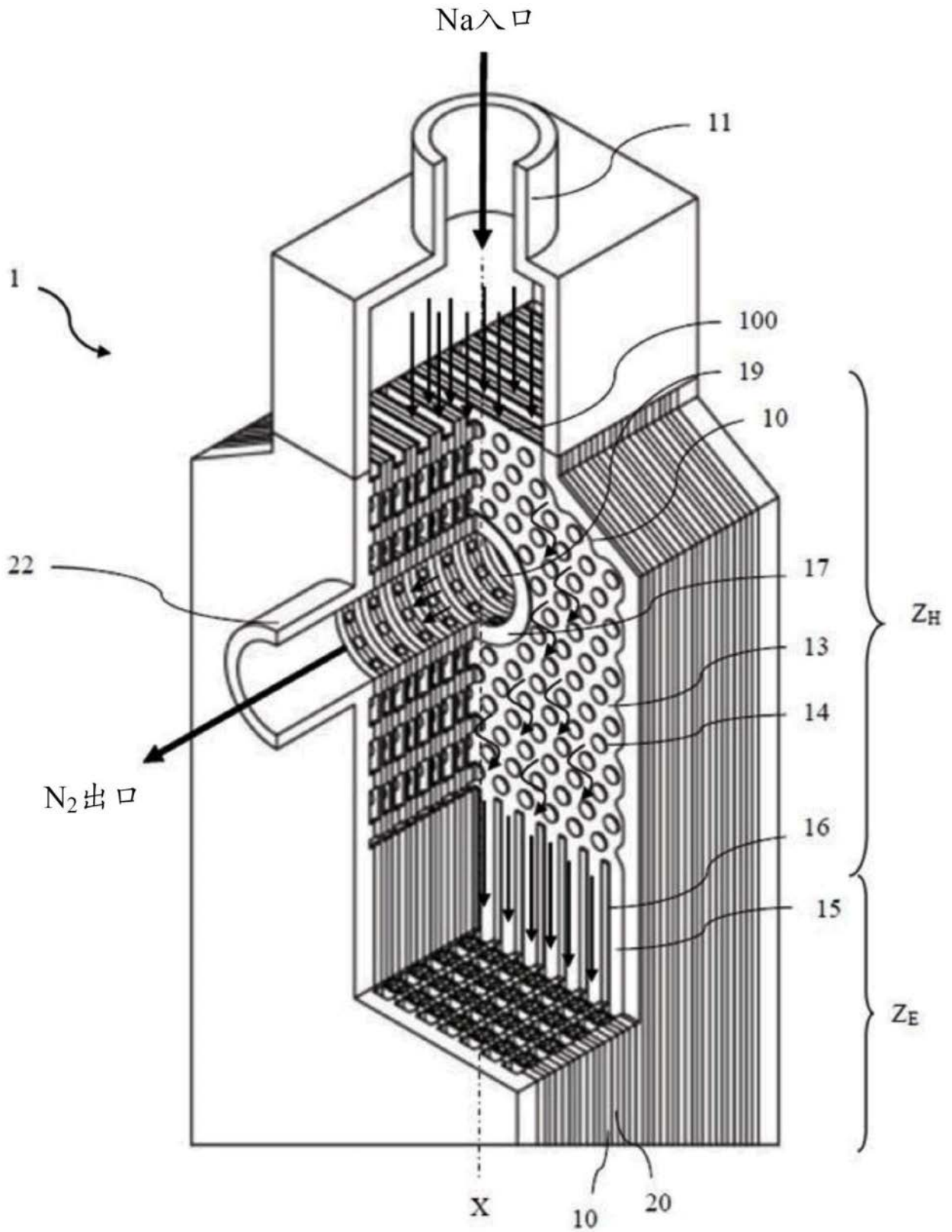


图4A

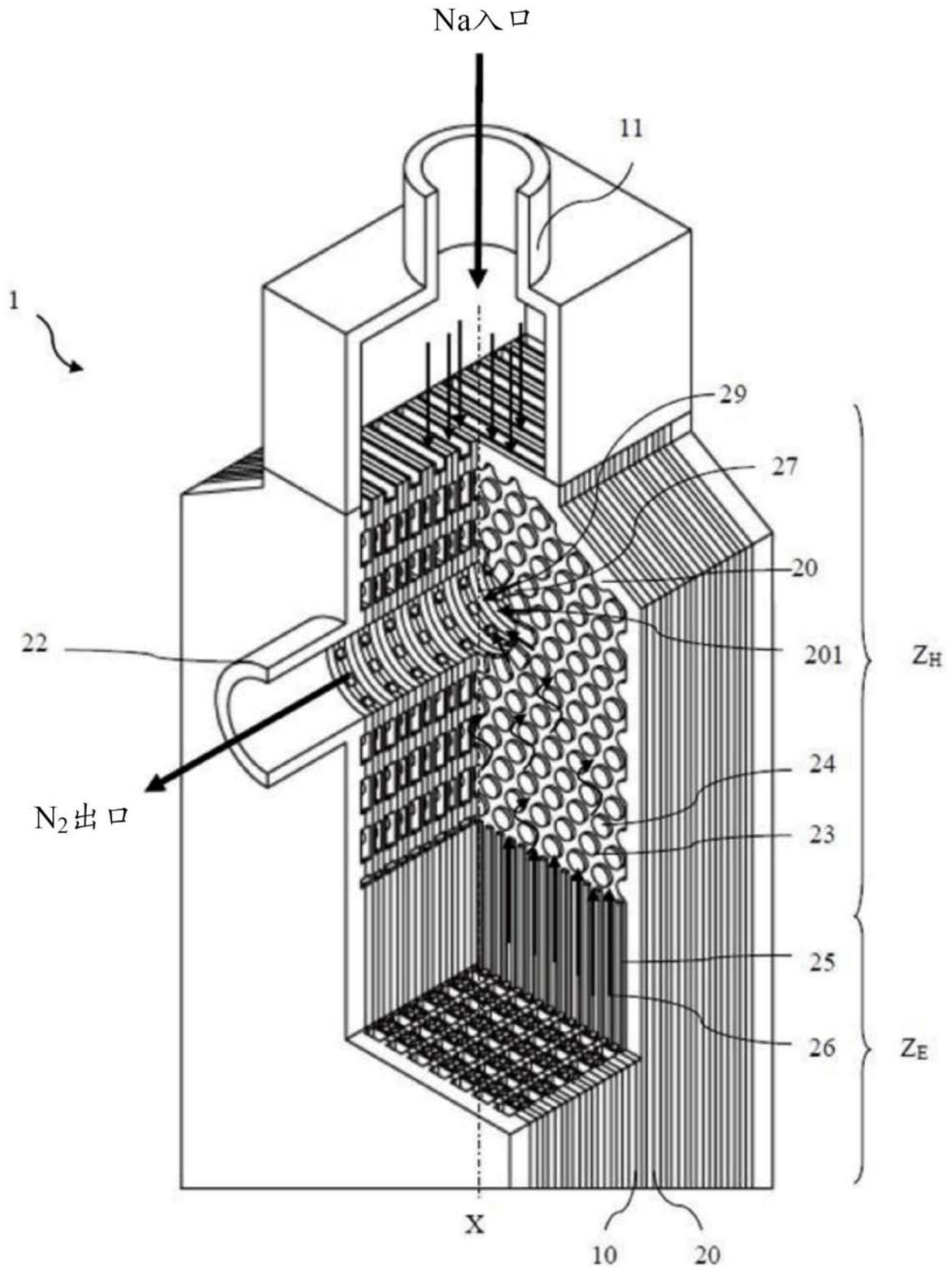


图4B

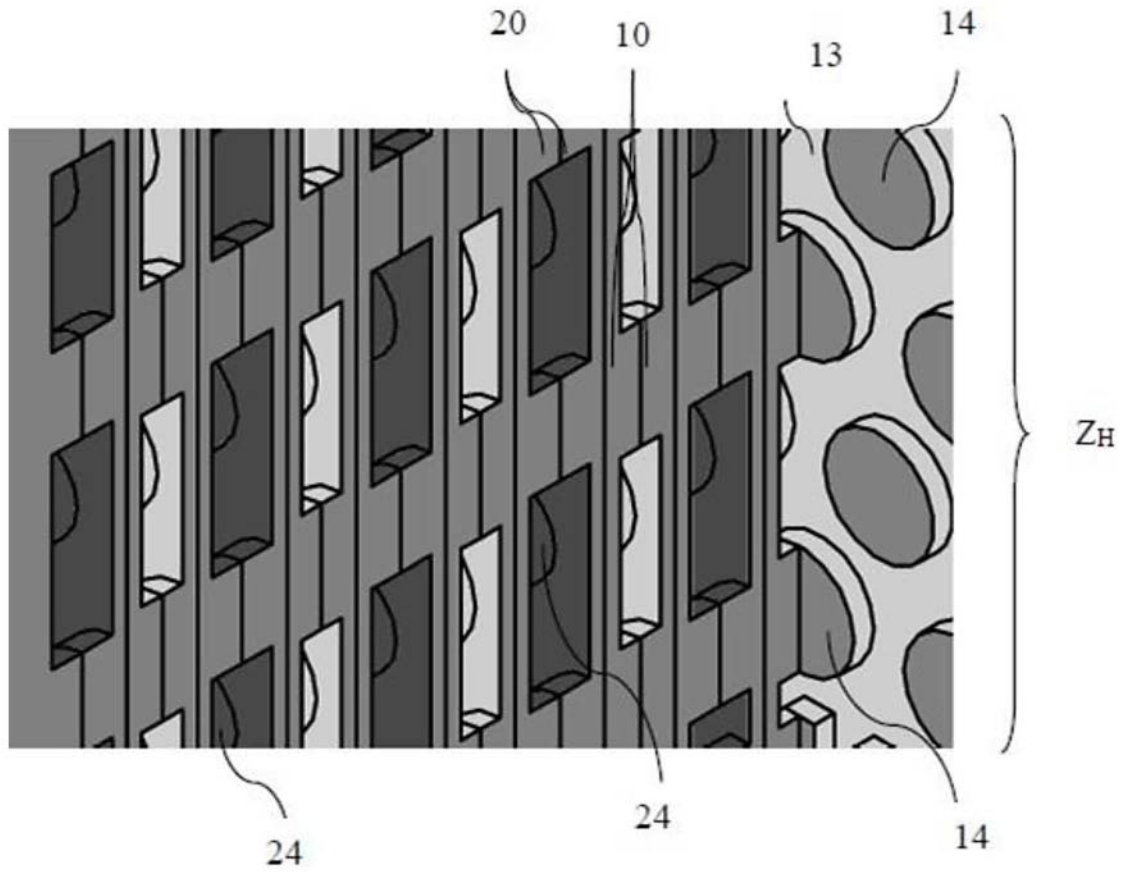


图4C

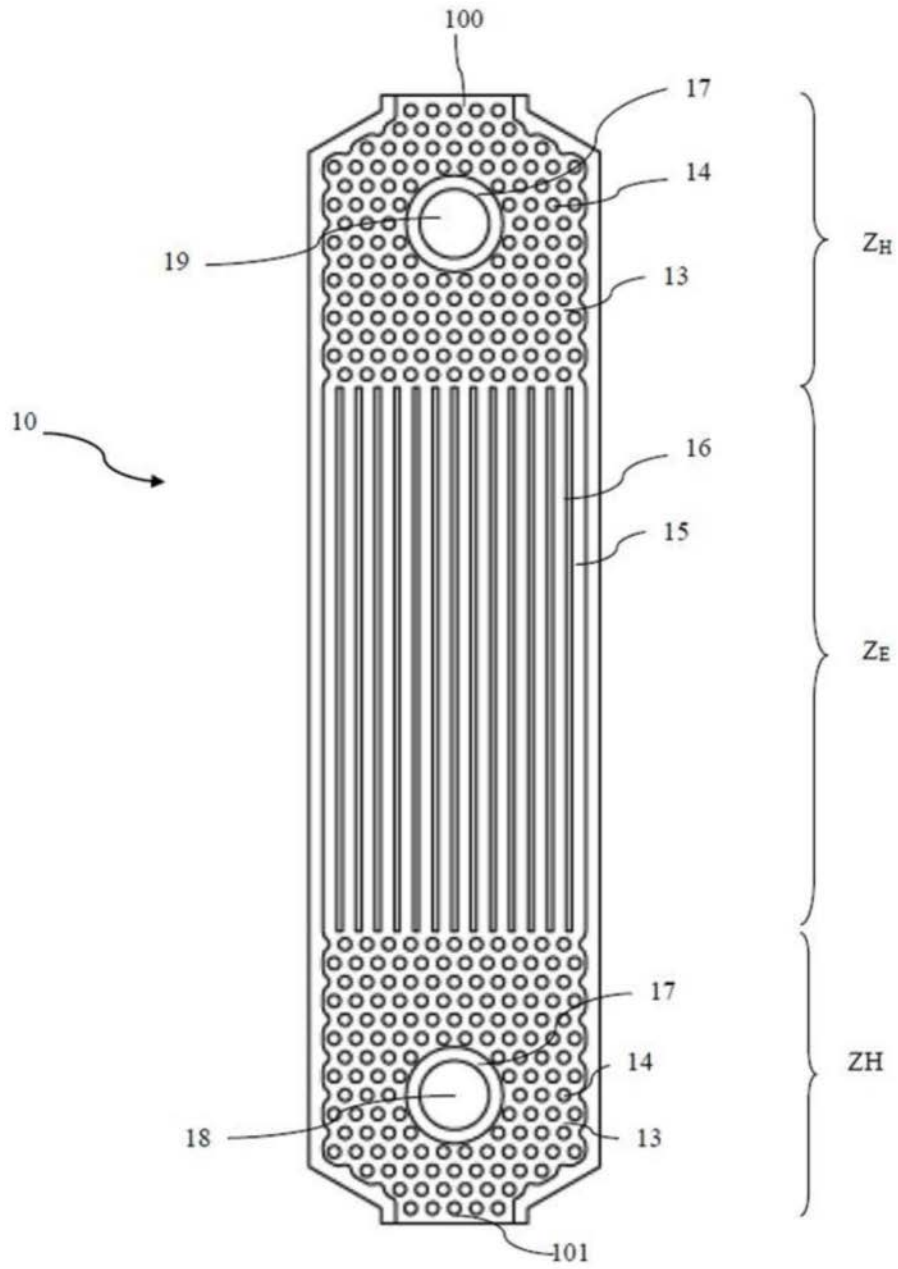


图5

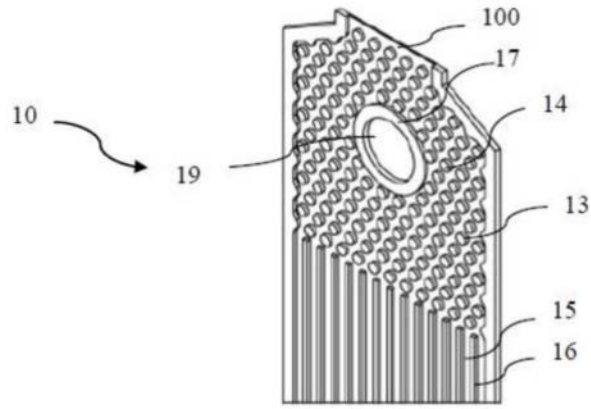


图5A

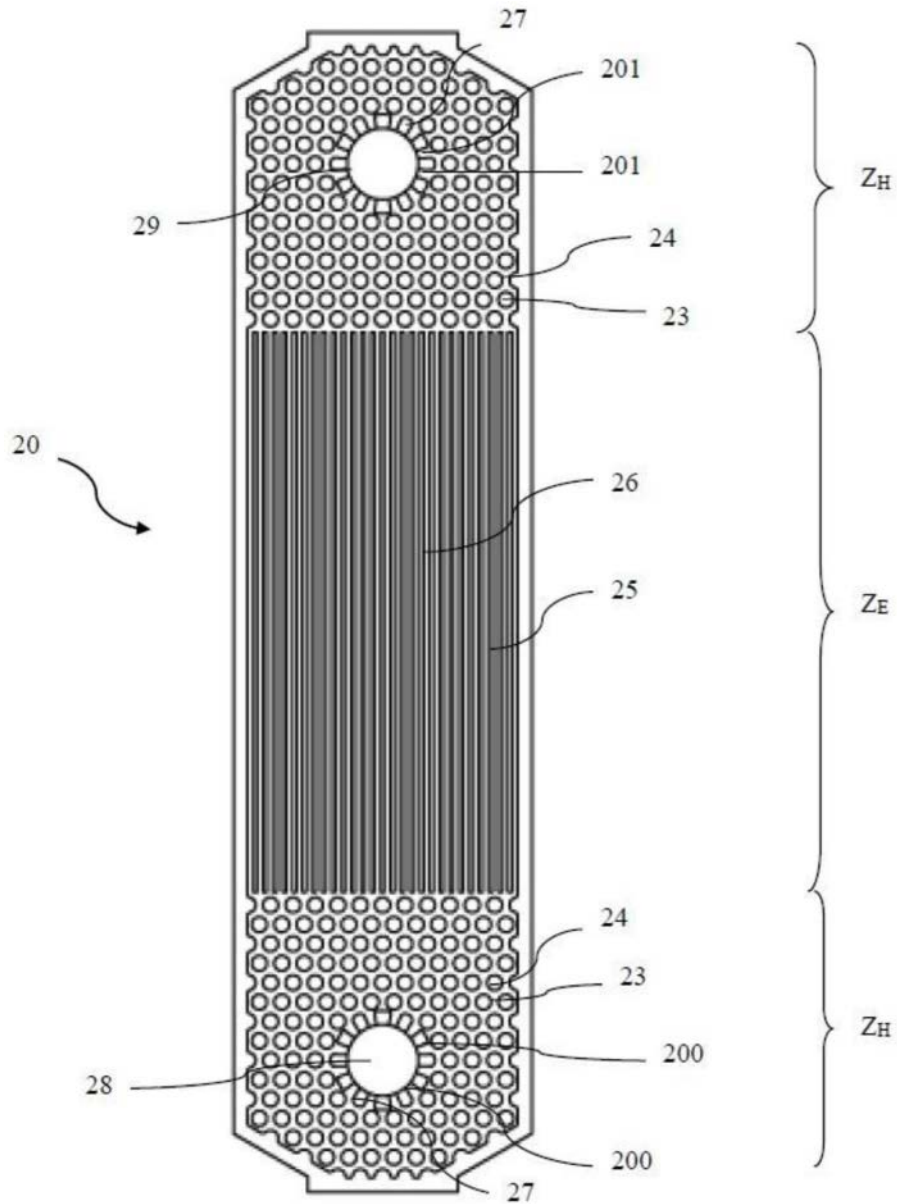


图6

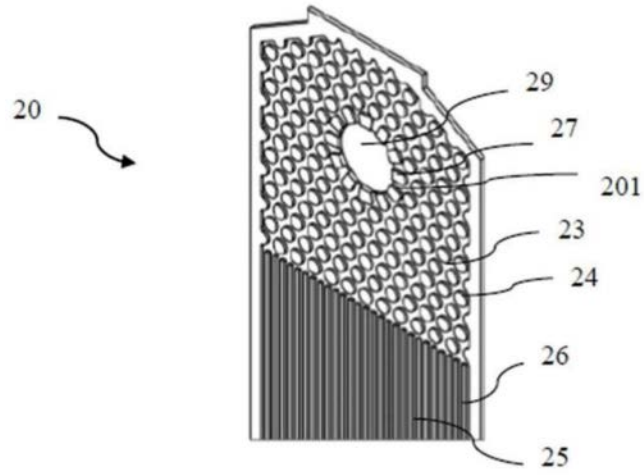


图6A

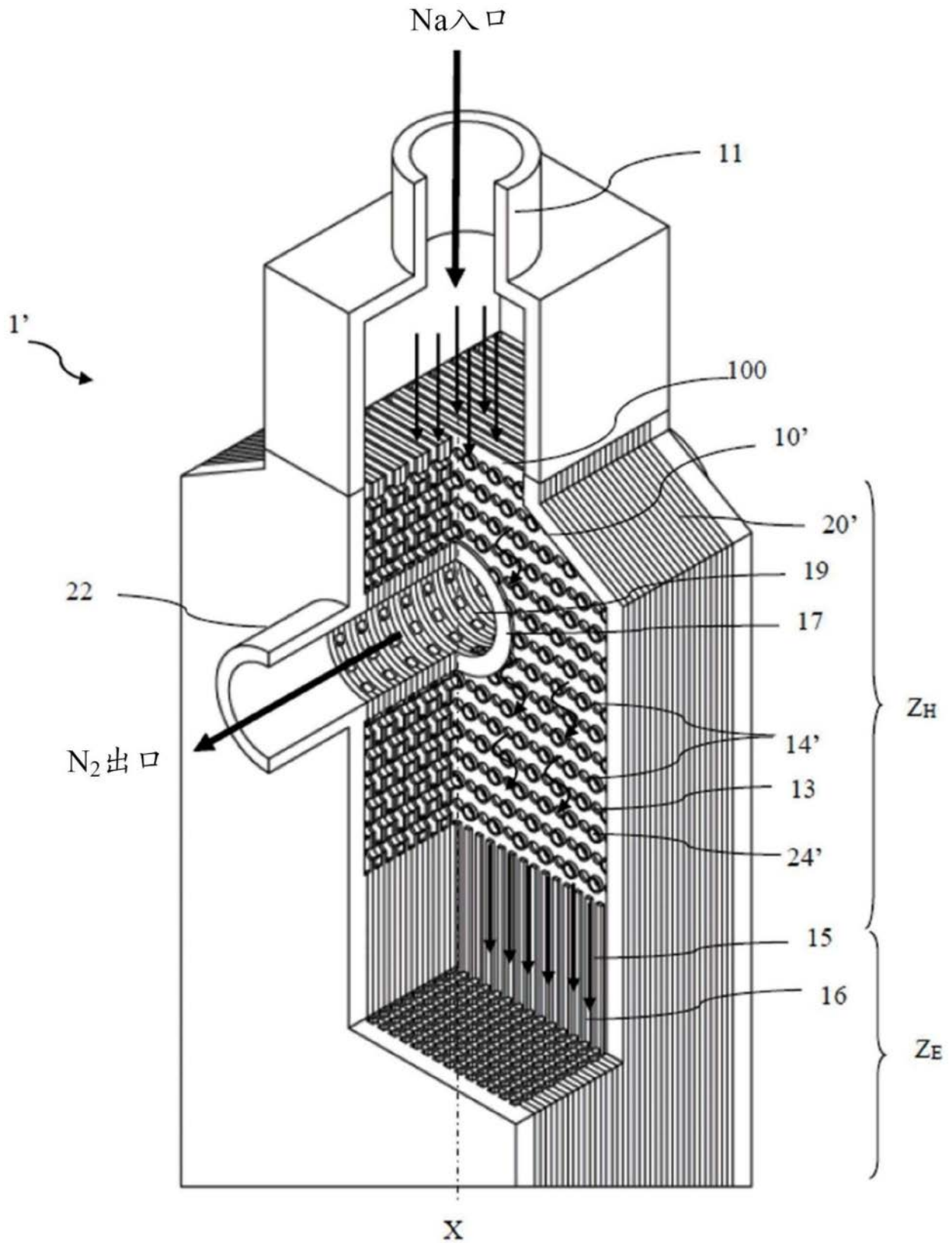


图7A

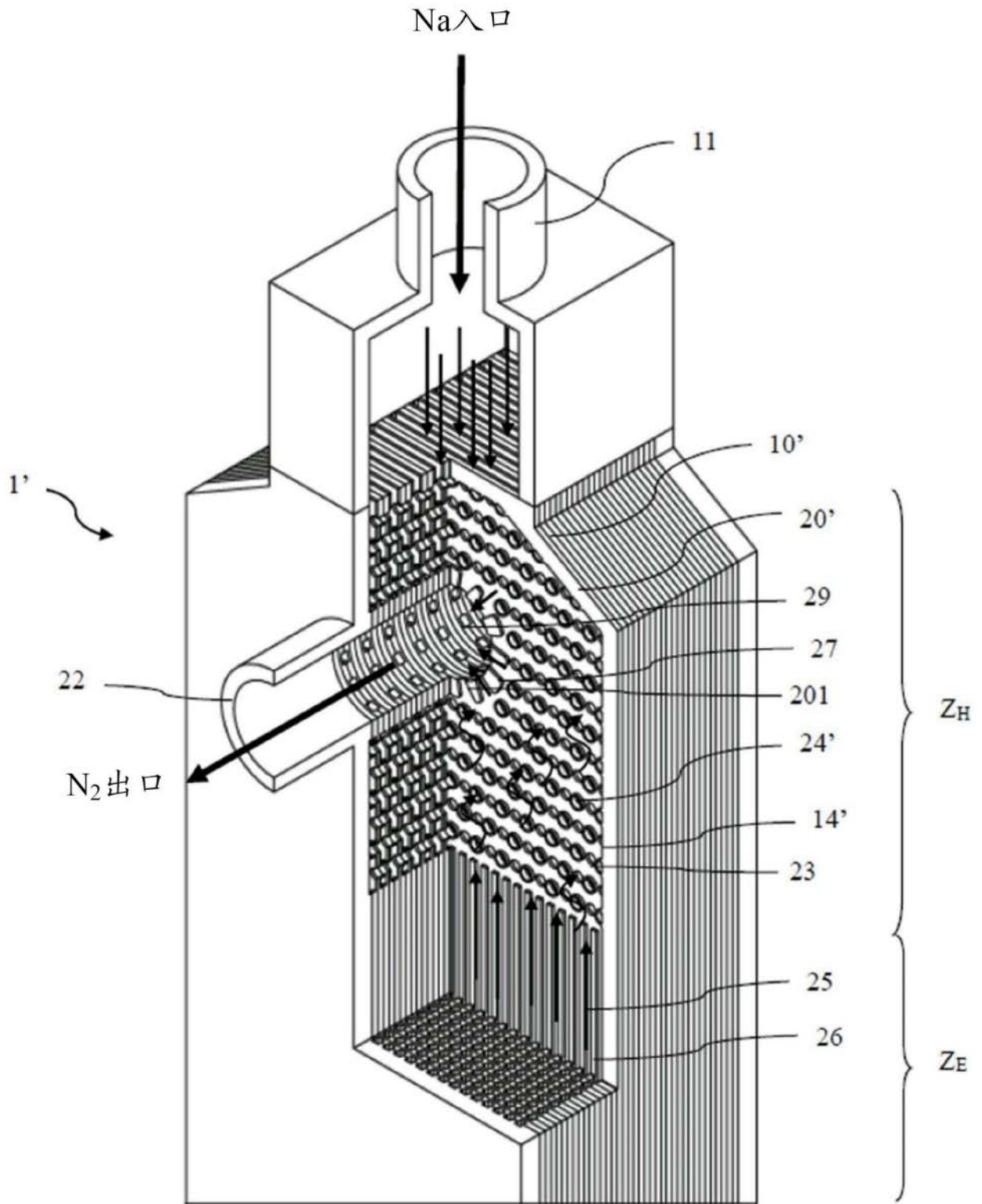


图7B

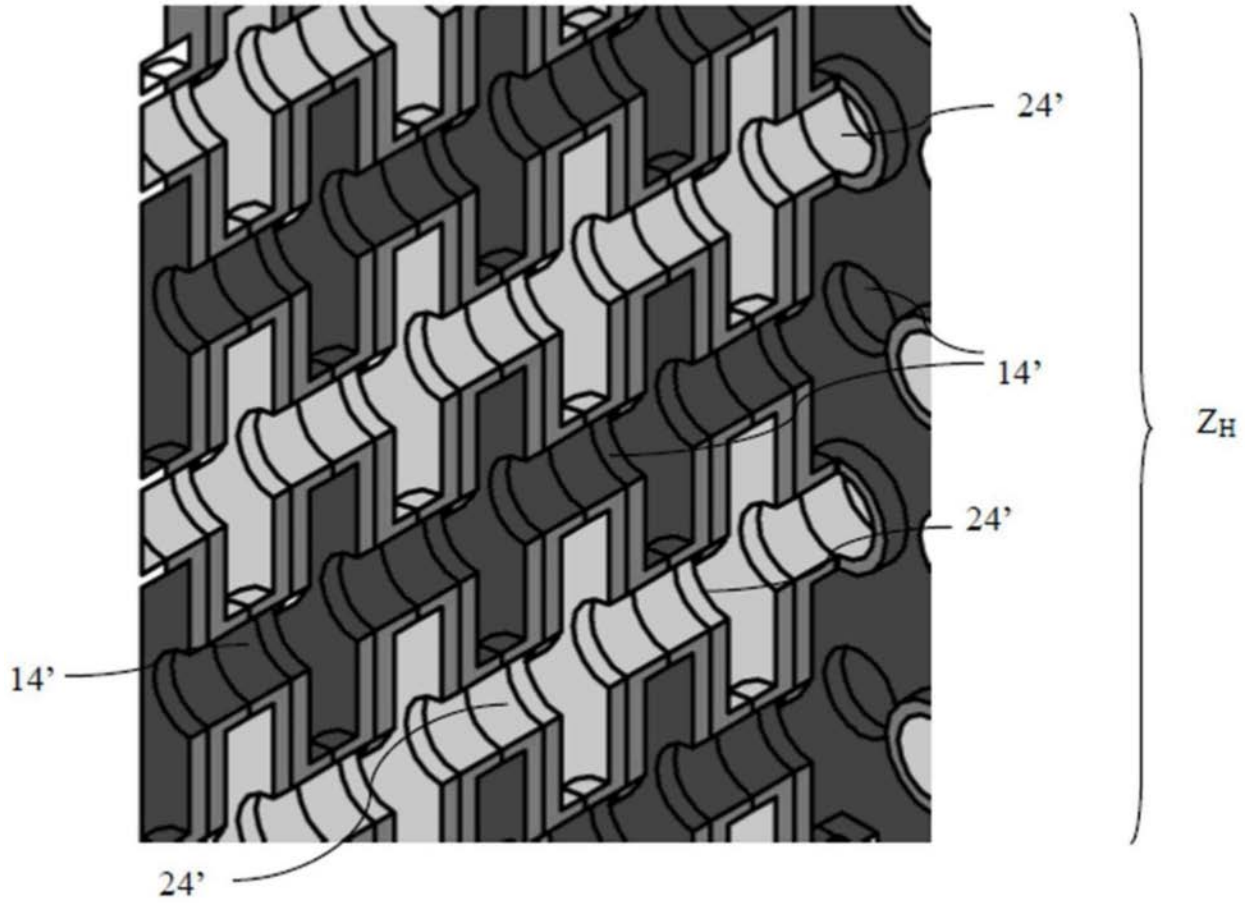


图7C

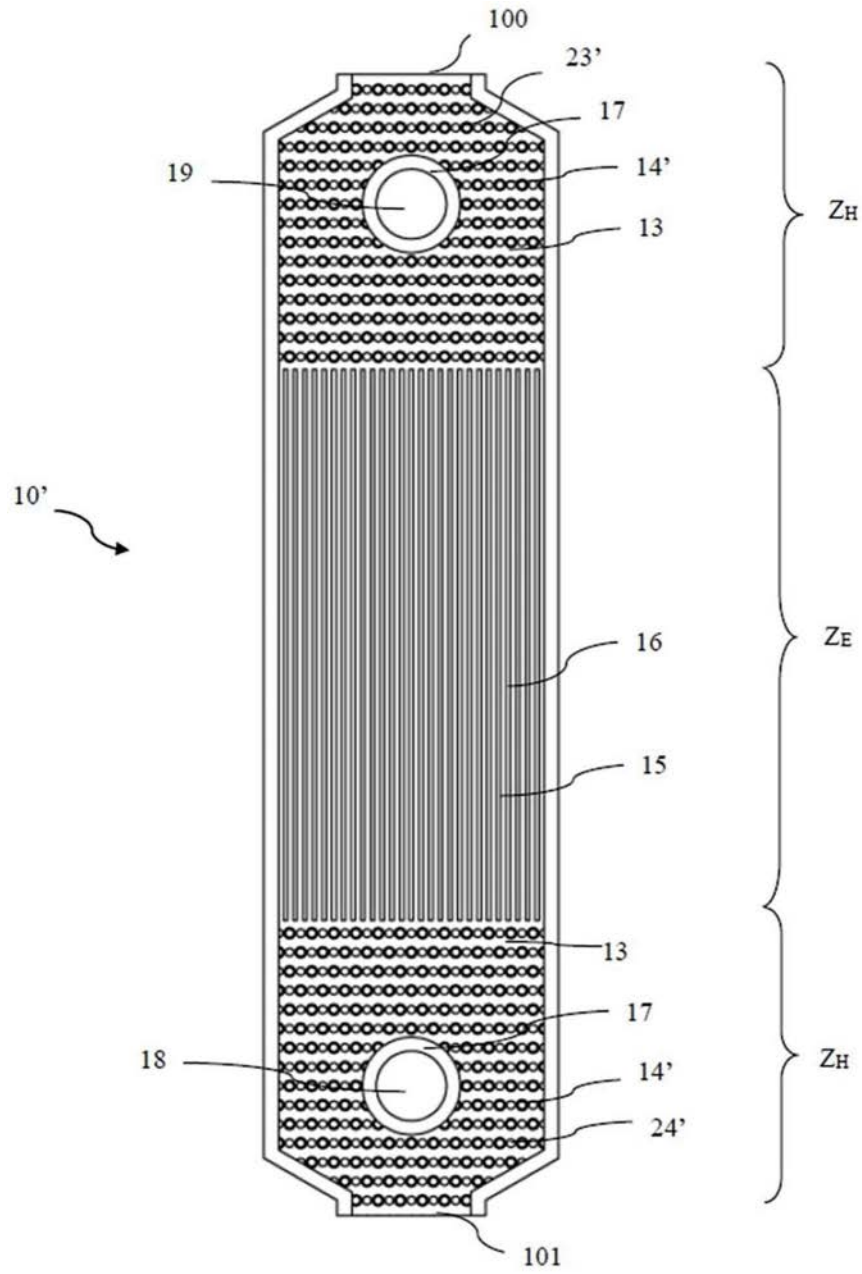


图8

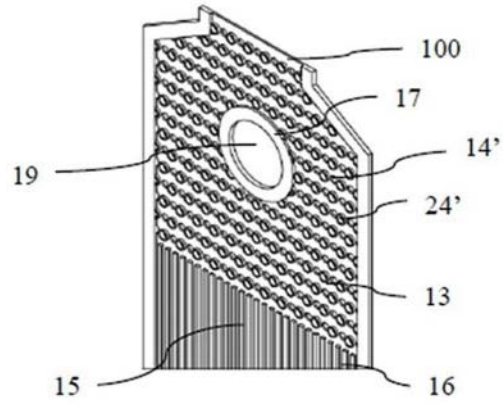


图8A

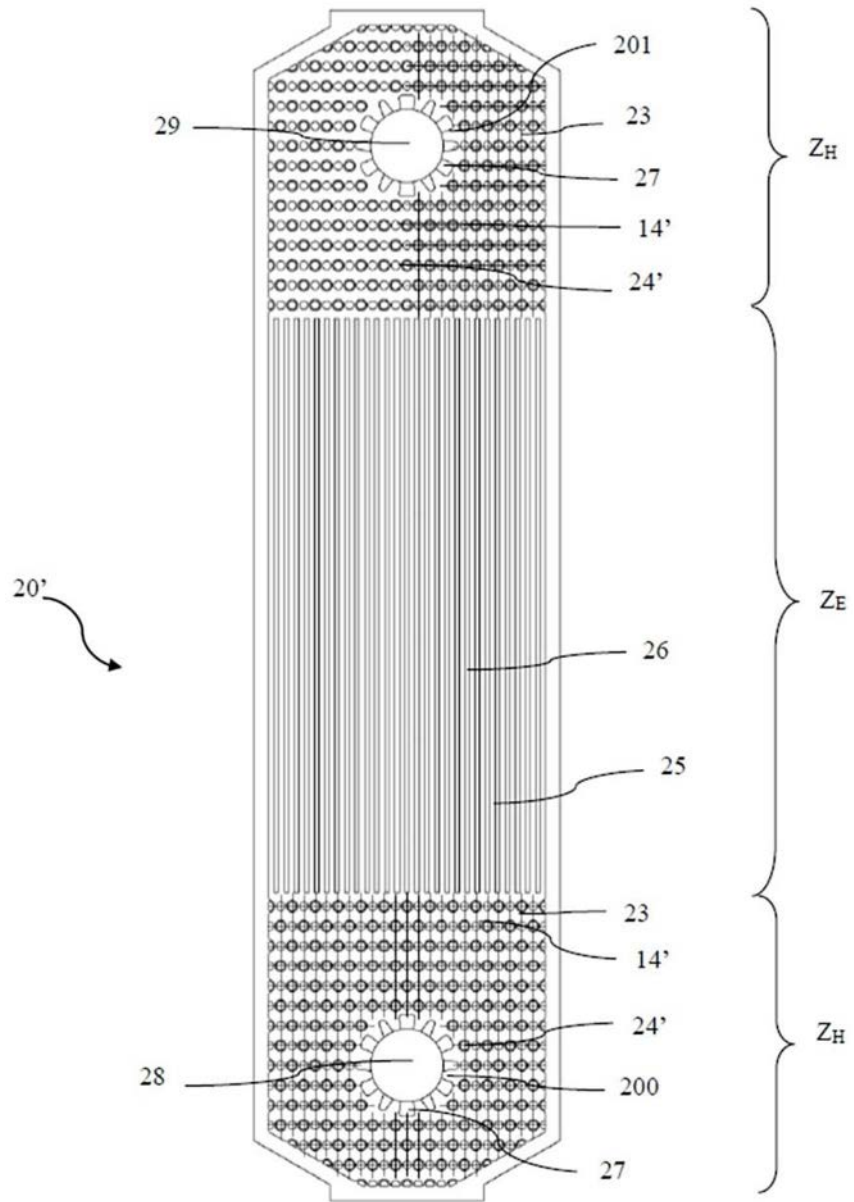


图9

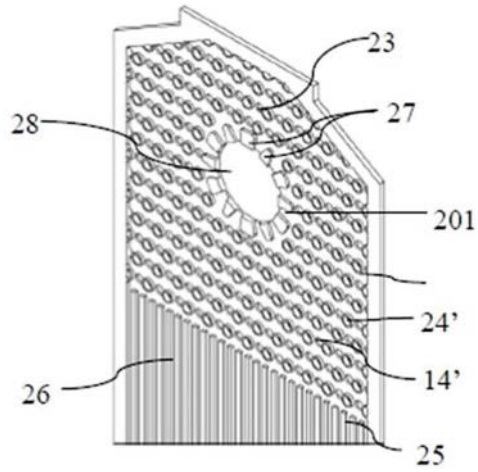


图9A

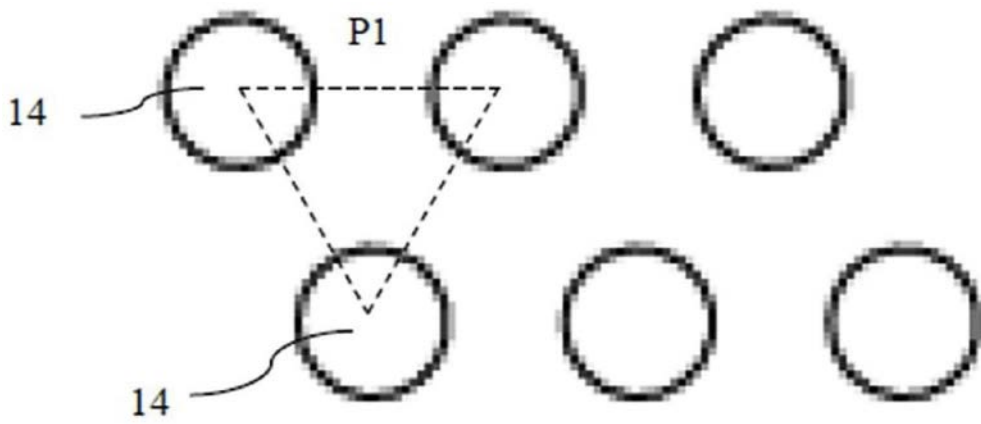


图10

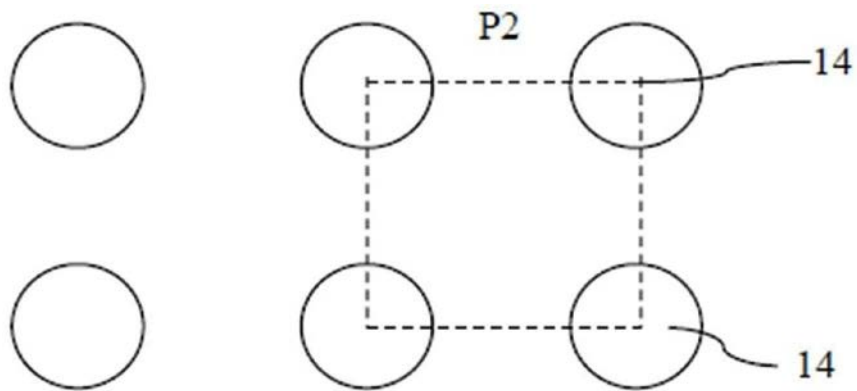


图11

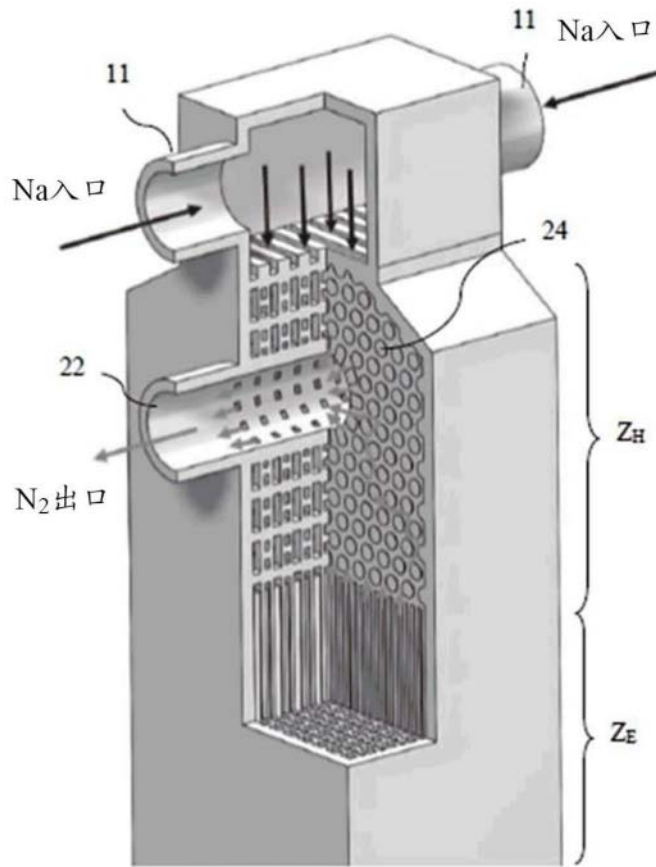


图12A

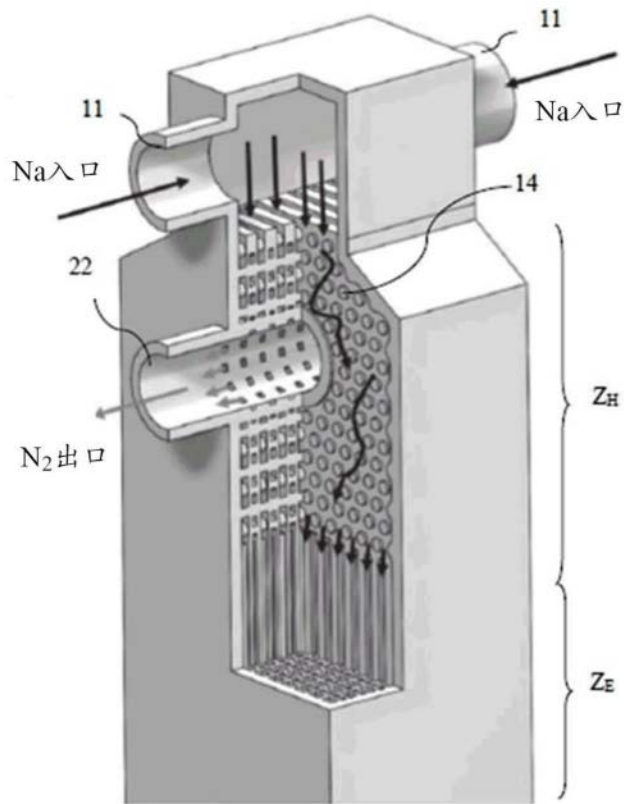


图12B

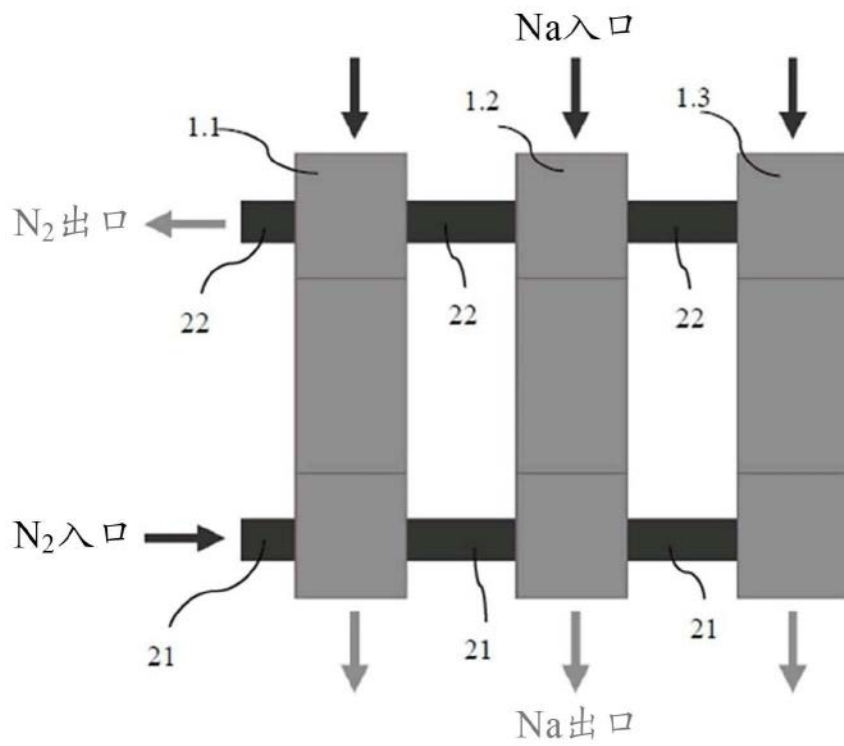


图13

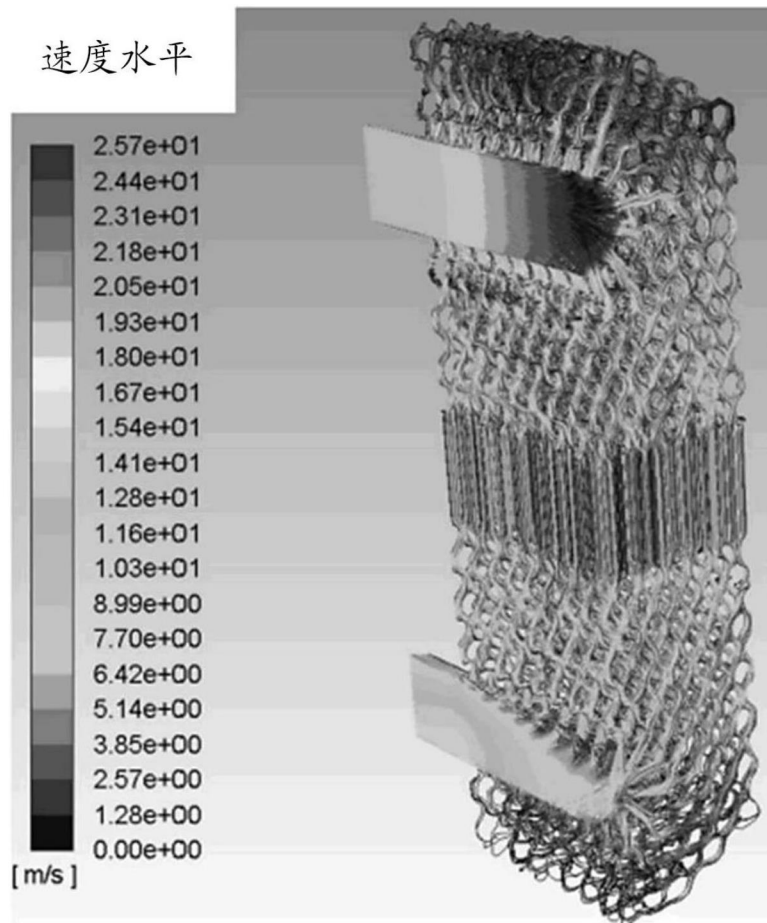


图14

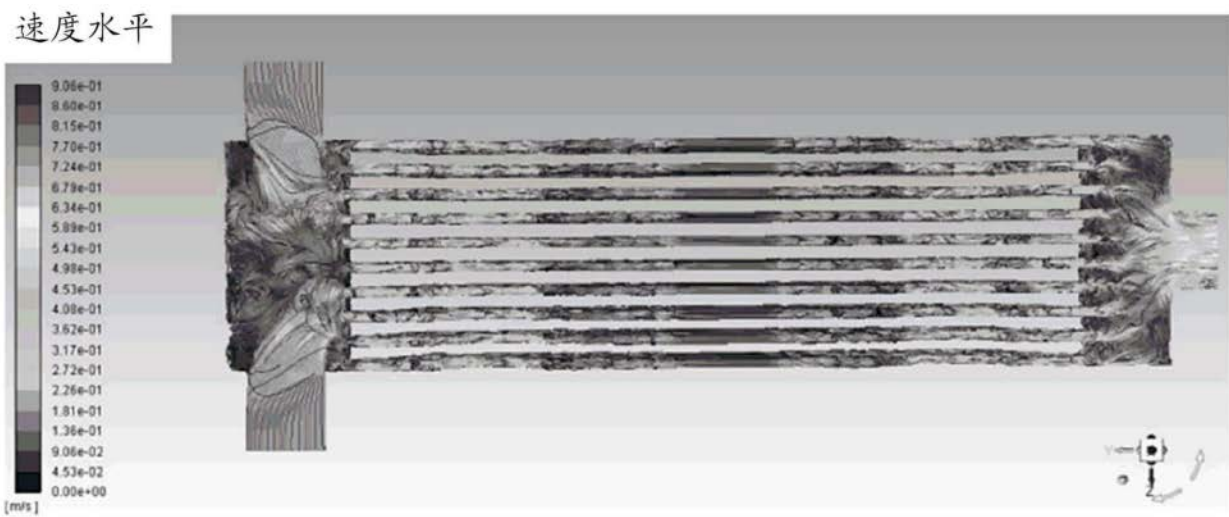


图15