

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B81B 7/00 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03821398.2

[45] 授权公告日 2008年7月16日

[11] 授权公告号 CN 100402412C

[22] 申请日 2003.9.11 [21] 申请号 03821398.2

[30] 优先权

[32] 2002.9.11 [33] US [31] 60/410,185

[86] 国际申请 PCT/US2003/028747 2003.9.11

[87] 国际公布 WO2004/025260 英 2004.3.25

[85] 进入国家阶段日期 2005.3.9

[73] 专利权人 克雷多实验室

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 理查德·A·霍尔

[56] 参考文献

US 6136272 A 2000.10.24

审查员 黄军容

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 杨娟奕

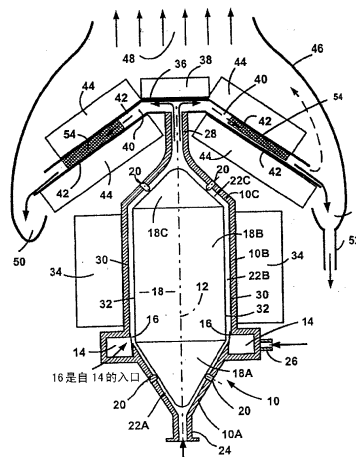
权利要求书3页 说明书9页 附图2页

## [54] 发明名称

材料的高剪切混合和反应方法及装置

## [57] 摘要

材料的移动流体流的高剪切反应和/或混合方法及装置，使用相互扩散和反应区域，所述区域形成在两个固定表面之间的空间中，所述两个表面间隔开最大距离，所述最大距离是材料的背对背边界层和/或表面上所得材料的厚度之和的最大距离，这个最大距离达到这样一个值：即，在两个边界层之间的任何第三层都太薄以致不能支撑以湍动对流为特征的搅动和/或者不能引起沟流。材料通过材料流动所产生的高速层流剪切而相互扩散，而不是通过宏观的对流而被混合，材料被高速进入供料驱动，辅助高压气体流被泵入反应/混合区域，或者辅助高压气体流作为可能发生的任何化学反应释放的气体副产品被产生。



1. 一种用于材料的高剪切混合和反应的方法，包括：

以第一流速将第一材料供至由两个接近地间隔开的固定表面之间的相互扩散通道构成的流动路径；

通过所述相互扩散通道以第二流速将第二材料供至所述流动路径，以便与流动路径中的第一材料相互扩散，通过相互扩散以及任何随之发生的反应而获得的材料以合成的流速沿流动路径移动；

其中，第一和第二材料以及通过相互扩散和任何随之发生的材料反应而获得的材料在所述两个表面上形成各个边界层；

其中，所述两个表面之间的径向间隔等于或小于在所述两个表面上形成的所述材料的两个边界层的背对背径向厚度，并且如果所述径向间隔大于该背对背径向厚度，则在两个边界层之间的第三层很薄以致不能支持湍动流动；以及

其中，在流动路径中的材料的流速使得它们经受这样的层流剪切，所述层流剪切具有相互扩散所需的值。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，通过一个安装在另一个中的两个圆柱形装置构件来提供所述两个间隔开的固定表面，从而外部构件的内表面与内部构件的外表面构成两个平行的、接近地间隔开的平滑表面，这两个表面提供构成材料流动路径的环形相互扩散通道。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，材料的流速是这样的：即，两个间隔开的固定表面之间的中值线速度至少为 5.0 米/秒。

4. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述间隔开的固定表面的平滑度是 10 微英寸或更小。

5. 根据权利要求 4 所述的方法，其中，所述间隔开的固定表面的平滑度是 5 微英寸或更小。

6. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，供至流动通道的材料之一是在足够的高压下被供至流动通道的辅助气体，以便产生流动通道中的其他一种或多种材料所需的流速。

7. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，通过由材料间的反应所引起

的流动通道中材料体积的增加，得到流动通道中材料的所需流速。

8. 根据权利要求7所述的方法，其中，通过通道中材料体积的增加，得到流动通道中材料的所需流速，其中所述材料体积的增加是通过材料之间的反应生成气体反应产物而引起的。

9. 一种用于材料的高剪切混合和反应的装置，包括：

提供两个平行的、接近地间隔开的固定表面的装置结构，在所述两个表面之间构成作为相互扩散通道的流动路径；

通过所述相互扩散通道以第一流速将第一材料供至所述流动路径的装置；

通过所述相互扩散通道以第二流速将第二材料供至所述流动路径的装置，所述第二材料将与流动路径中的第一材料相互扩散，通过相互扩散和任何随之发生的反应而获得的材料以合成的流速沿流动路径移动；

其中，第一和第二材料以及通过相互扩散和任何随之发生的材料反应而获得的材料在所述两个表面上形成各个边界层；

其中，所述两个表面之间的径向间隔等于或小于在所述两个表面上形成的所述材料的两个边界层的背对背径向厚度，如果所述径向间隔大于该背对背径向厚度，则在两个边界层之间的第三层很薄以致不能支持湍动流动；以及

其中，提供第一和第二材料的装置以这样的流速供给这些材料，使得在通道中的材料经受这样的层流剪切，所述层流剪切具有相互扩散所需的值。

10. 根据权利要求9所述的装置，其中，所述两个间隔开的表面包括一个安装在另一个中的两个圆柱形装置构件，其中外部构件的内表面与内部构件的外表面构成两个平行的、接近地间隔开的平滑表面，在这两个表面之间提供环形的相互扩散通道。

11. 根据权利要求9所述的装置，其中，材料的流速是这样的：即，两个间隔开的固定表面之间的线速度至少为5.0米/秒

12. 根据权利要求9所述的装置，其中，所述表面的平滑度是10微英寸或更小。

13. 根据权利要求12所述的装置，其中，所述表面的平滑度是5微

英寸或更小。

14. 根据权利要求 9 所述的装置，其中，供至流动通道的材料之一是在足够的压力下被供至流动通道的辅助气体，以便产生流动通道中的另一材料或另外多种材料的所需流速。

15. 根据权利要求 14 所述的装置，其中，通过由材料间的化学反应所产生的流动通道中材料体积的增加，得到流动通道中材料的所需流速。

16. 根据权利要求 9 所述的方法，其中，通过通道中材料体积的增加，得到流动通道中材料的所需流速，其中所述材料体积的增加是通过材料间的化学反应生成气体反应产物而引起的。

17. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述两个接近地间隔开的固定表面是平行的。

## 材料的高剪切混合和反应方法及装置

### 技术领域

本发明涉及材料的高剪切混合和反应方法及装置，包括成分的或成分之间的化学和/或物理作用或反应。

### 背景技术

已知用于材料处理的装置，所述装置包括围绕共同的轴线相对于彼此转动的共轴圆筒（cylinder），被处理的材料被送入圆筒之间的环形空间中，例如，在1994年12月6日授予Colorado State University Research Foundation的美国专利No. 5,370,999、1994年8月23日授予Nippon Paint Co. Ltd.的美国专利No.5,430,891、申请人的美国专利No.5,279,463（1994年1月18日被授权）和No.5,538,191（1996年7月23日被授权）以及未决美国申请No.09/802,037（2001年3月7日递交）中，公开了一种用于高剪切材料处理的方法和装置，一种类型的装置包括在定子中旋转的转子，以提供包括流动路径的环形流动通道，流动路径沿其长度具有均匀的径向尺寸并且包括高剪切处理区域，在该高剪切处理区域中在材料经过的过程中自由supra-Kolmogoroff涡流被抑制。在另一种类型的装置中，在圆周上的一个位置处的通道间隔小于所述区域剩余部分的通道间隔，以提供辅助高剪切处理区域，在该辅助高剪切处理区域中，自由supra-Kolmogoroff涡流被抑制。

库爱特研究开发了一种用于测量液体粘度的装置，包括浸入旋转圆柱形容器中所容纳的液体中的圆筒，通过测量被施加在圆筒上的扭矩来测量粘度。已经发现，粘度测量值与转子表面的角速度之间保持线性关系，直到达到特定值才打破这种线性关系。G.I. 泰勒对这种现象进行了研究，并指出：当超过特定的雷诺数时，先前在两个圆柱形表面之间的环中的层流变得不稳定，出现旋涡，即通常所说的泰勒旋涡，这些旋涡的轴线沿着转子的圆周布置并且与转子的旋转轴线平行，并且这些旋涡交

替地沿相反的方向旋转。依赖于环形间隙的径向宽度、转子的半径和它的圆周速度，流动以这种方式变得不稳定的条件可利用特征数，即通常所说的泰勒数来表示。如申请人在未决美国专利申请 No.09/802,037(2001年3月7日申请)中所描述的一样（该专利申请所公开的内容通过该引用被包括在本文中），申请人已经发现，当使用这种装置用于需要完全混合的类型的处理时，由于被处理的材料部分地被卷入旋涡中，因此泰勒旋涡的出现会抑制所希望的作用或反应，于是混合被削弱，并且需要用非常慢的扩散处理来代替这种混合处理。

## 发明内容

本发明的主要目的是提供用于材料的高剪切混合和反应的新的方法和装置，其中相互扩散的混合能够获得，而不是宏观上的对流混合；所使用的装置能够被操作，而不会出现泰勒旋涡，从而能够获得这种相互扩散的混合。

另一个更具体的目的是提供用于材料的高剪切混合和反应的新的方法和装置，其中相互扩散的混合能够获得，而不是宏观上的对流混合，并且在处理通道中不需要使用相对移动的表面。

根据本发明，提供一种用于材料的高剪切混合和反应的新方法，包括：

通过两个平行的、接近地间隔开的固定表面之间的相互扩散通道以第一流速将第一材料供至流动路径；

通过所述相互扩散通道以第二流速将第二材料供至流动路径，以便与流动路径中的第一材料相互扩散，通过相互扩散以及任何随之发生的反应而获得的材料以合成的流速沿流动路径移动；

其中，第一和第二材料以及通过相互扩散和任何随之发生的材料反应而获得的材料在所述两个表面上形成各个边界层；

其中，两个平行表面之间的径向间隔等于或小于在这两个表面上的材料的两个层流边界层的背对背径向厚度，如果所述径向间隔大于所述背对背径向厚度，则两个边界层之间的第三层很薄以致不能支持湍动流动；以及

其中，在流动路径中的材料的流速使得它们经受这样的层流剪切，所述层流剪切具有相互扩散所需的值。

并且，根据本发明，提供一种用于材料的高剪切混合和反应的装置，包括：

提供两个接近地间隔开的固定表面的装置结构，在所述两个表面之间构成作为相互扩散通道的流动路径；

通过所述相互扩散通道以第一流速将第一材料供至流动路径的装置；

通过所述相互扩散通道以第二流速将第二材料供至流动路径的装置，第二材料将与流动路径中的第一材料相互扩散，通过相互扩散和任何随之发生的反应而获得的材料以合成的流速沿流动路径移动；

其中，第一和第二材料以及通过相互扩散和任何随之发生的材料反应而获得的材料在两个表面上形成各个层流边界层；

其中，两个平行表面之间的径向间隔等于或小于在所述两个表面上的材料的两个边界层的背对背径向厚度，如果所述径向间隔大于背对背径向厚度，则两个边界层之间的第三层很薄以致不能支持湍动流动；以及

其中，提供第一和第二材料的装置以这样的流速供给这些材料，使得在通道中的这些材料经受这样的层流剪切，所述层流剪切具有相互扩散所需的值。

优选的是，通过一个安装在另一个中的两个圆柱形装置构件提供两个平行的间隔表面，从而外部构件的内表面与内部构件的外表面构成两个平行的、接近地间隔开的平滑表面，这两个表面提供构成材料流动路径的环形相互扩散通道。

#### 附图说明

参考附图，以示例的方式描述作为本发明的特定优选实施例的方法和装置，其中：

图 1 是贯穿所述装置的纵剖视图；

图 2 是示出流动控制机构的压力通风系统的一部分的剖视图。

附图中附图标记的列表:

- 10 圆柱形外壳
- 12 壳体 10 和内部主体 18 的纵向轴线
- 14 外壳 10 的圆周压力通风系统
- 16 自压力通风系统 14 的圆周入口
- 18、18A、18B、18C 中空的内部主体以及它们的各部分
- 20 主体 10 和 18 之间的径向支撑件
- 22、22A、22B、22C 处理通道和它的各部分
- 24 通道 22 的圆柱形入口
- 26 压力通风系统 14 的侧入口
- 28 通道 22 的出口
- 30 外部构件 10 的内圆柱形表面
- 32 内部主体 18 的外圆柱形表面
- 34 围绕外部构件 10 的热交换器
- 36 在出口 28 处的接收板
- 38 接收板 36 的加热器
- 40 截头圆锥体形通道, 用于接收来自出口 28 的排放
- 42 形成通道 40 的结构
- 44 用于通道 40 的加热器
- 46 围绕通道 40 的环形 (toroidal) 罩板
- 48 罩板 46 上端的气体出口
- 50 在罩板 46 的下端处的槽
- 52 槽 50 的液体出口
- 54 通道 40 中的除雾器
- 56 顶
- 58 上薄片 (flap)
- 58A 上薄片接触部分
- 60 下薄片
- 60A 下薄片接触部分

## 具体实施方式

图 1 示出的装置包括圆柱形外壳 10，所述外壳 10 关于纵向轴线 12 对称，所述壳体具有向外逐渐变细的入口部分 10A，所述入口部分 10A 与沿着其长度具有均匀直径的中心部分 10B 连接，所述中心部分又与向内逐渐变细的出口部分 10C 连接。壳体 10 形成有圆周压力通风系统 14，圆周压力通风系统 14 具有通至壳体 10 内部的圆周入口 16。形状与壳体 10 内侧大致相同而直径比之稍小的中空内部主体 18 通过流线形径向支撑件 20 被安装在壳体内，使得内部主体 18 的纵向轴线与壳体 10 的纵向轴线重合。这种径向支撑件的一个例子是定位螺钉。这些径向支撑件 20 的数量和间隔依赖于装置的部件的操作条件和尺寸。这样，内部主体具有入口部分 18A、中心部分 18B 以及出口部分 18C，从而在它的外表面和壳体的内表面之间形成具有入口部分 22A、中心部分 22B 和出口部分 22C 的环形截面的处理通道。

圆周入口 16 可以被装配流动控制机构，该流动控制机构仅允许材料沿一个方向从压力通风系统 14 流通，即，流入处理通道 22B，并且阻塞或限制从处理通道流入压力通风系统的流动。依赖于发生在装置中的反应，包括通道 22 和压力通风系统 14 中的反应物的相对压力，可以需要或不需要流动控制机构。图 1 示出了在入口 16 处的细线，它表示非常简单的、薄的、弹簧状的圆周薄片，被用作止回阀。其材料应该优选是柔性的和非反应的，诸如不锈钢或聚四氟乙烯类弹性体等，其中一个例子是以品牌 KALREZ 被销售的材料。这种流动控制机构的另一种类型如图 2 所示。图 2 示出具有倾斜顶 56 的压力通风系统 14 的内部形状。压力通风系统 14 的形状是权宜的设计，在不影响在此所述和要求保护的本发明的情况下，有很多形状可以被使用。连接于顶 56 并且延伸入处理通道 22B 的是上薄片 58。下薄片 60 与上薄片 58 协作，下薄片连接于压力通风系统 14 的内壁。当反应物 B 的压力小于通道 22 中的压力时，薄片 58 和 60 的一部分彼此接触，即接触部分 58A 和 60A 彼此接触，阻塞或限制材料从通道 22 流入压力通风系统 14 中。当反应物 B 的压力超过通道 22 中的压力时，接触部分 58A 和 60A 分开，反应物 B 流入通道 22B 中。

将要在通道中被处理的第一材料通过圆柱形入口 24 被供至通道入口部分 22A，其中圆柱形入口 24 的纵轴线与轴线 12 重合，以便材料被均匀地供入环形通道中。在材料是液体或浆料，或者说材料为可泵吸的情况下，它将在具有足够容积的压力泵的推动下被供给，从而以相应的所需的第一流速将材料进给到通道中；另一方面，如果材料是气体，则它能够通过压力控制阀从加压容器被供给。这种用于供给材料的装置对于本领域技术人员来说是已知的，不需要作具体的解释。将要在通道中被处理的第二材料通过压力通风系统 14 的侧入口 26 被供至通道入口部分 22A 和通道中心部分 22B 的接合处，使得材料被均匀地供入环形通道并汇入通过通道的第一材料流中。如同第一材料一样，在材料是液体或浆料，或者说材料可泵吸的情况下，它将在具有足够容积的压力泵的推动下被供给，从而以相应的所需的第二流速将材料进给到通道中；另一方面，如果材料是气体，则它能够通过压力控制阀从加压容器被供给。通过环形通道的出口部分 22C 的相互扩散并且可能发生反应的材料通过出口 28 被排出。

当被处理的材料流经处理通道时，各个层流边界层形成在外部构件 10 的内圆柱表面 30 和内部构件 18 的外圆柱表面 32 的每一个上，层流边界层的厚度由被处理材料的粘度和其他因素以及材料流过表面的流速所决定。这种对应任何流体的层流边界层的厚度由 Blasius 公式确定，它考虑了流动路径的长度、流速以及动态速度。在各自的中心部分 10B 和 18B 处，表面 30 的内径和表面 32 的外径是这样的：处理通道的该部分 22B 的径向尺寸刚好等于这些表面上的背对背的两个边界层的组合厚度，或者非常接近这个值，以致它们之间没有足够的空间用于如下的中间容积层 (intervening bulk layer)：该中间容积层足够厚，从而允许形成湍动的宏观搅动，并且能打断（妨碍）两个接触的层流边界层中的材料之间的完全相互扩散。已经发现，这种高剪切的层流边界层的相互扩散能够显著提高分子扩散的速度和均匀性，而这是发生快速化学反应所需要的。作为具体的例子，对于内部主体 18 的外部直径为 7.5cm 的装置，1-12mm 的间隙很可能是需要的，以确保动态粘度为 1.0cP 或更高的液体的边界层之间不会产生任何容积层；如果间隙仅仅被增至 5mm，则所得的中间容

积层几乎必定会减缓否则会非常快的相互扩散及随后的快速化学反应。

为了在使材料保持在通道中的同时确保所需的相互扩散程度，保持最小的流速以便在边界层之间保持所希望的高剪切相互作用是必要的。这个速度不应该小于大约 5.0 米/秒。同样希望的是，表面 30 和 32 应该具有一定程度的平滑度和惯性，以便防止液体残余物不适当地保持在表面上。对应上述参数（例如，直径为 7.5cm 的转子，对应径向间隙为 1-12mm）所需的公差，圆柱形表面的常规机械加工是不够的，所得的表面粗糙度（尽管不是通常认为的粗糙度）仍然足以允许形成薄的沉积，由此发现，需要对这些表面进行抛光，达到所谓的镜面光洁度或者更好的程度。40 微英寸的标准光洁度无疑是太粗糙了，优选为至少 10 微英寸的经搪磨的光洁度，更优选光洁度为 5 微英寸。

本发明的方法和装置例如能够强制气体快速地溶解在液体中，其中所述气体和液体之间的溶解性通常较低，或者能够几乎瞬时地乳化不易混合的液体，或者能够以非常高的反应速度使两种或更多种材料发生化学反应，有时甚至在没有传统处理中经常需要的催化剂、表面活性材料等等的情况下也能快速进行化学反应，从而获得经济可行的反应速度。能够应用本发明所述方法和装置的处理中的一部分处理将只涉及供入装置中的材料的物理相互扩散，例如乳化作用，而其他的处理将涉及可能同时伴有或没有物理反应的化学反应。在许多处理中，通过入口 24 被供入例如通道 22 内的材料之一（第一材料）可以包括将要在其通过通道的行程中以所希望的方式相互扩散和相互作用的材料的混合物，而通过入口 26 被供给的材料（第二材料）是高压惰性气体，例如氮气或空气，它们的唯一目的是产生通过通道的第一材料的足够大的流速。在反应温度和压力下的许多化学反应能够导致气体产品的生成，并且在处理通道的有限空间中，这些气体足以产生通过通道的所需加速流速。应该指出的是，当这种生成过程发生时，被供入通道中的材料需要具有足够高的压力，以便所产生的内压力不会引起材料的回流。

通常，大多数化学反应和许多物理反应或多或少地吸热或放热，并且许多反应中这种吸热或放热现象是很强烈的。较高的反应速度能够导致相对应的显著的生产率增长或热量损失，热量的一部分能够通过排出

的流体被传递出所述装置，如果处理温度将被保持在所需的限制范围内，那么剩余的热量就必须通过壳体和/或内部主体的壁而被传递。在这种装置中另一个重要的因素是，两个薄的边界层膜的导热率非常高，因为它们之间没有容积层，在传统的容积搅动系统（bulk stirring system）中，热量必须经过所述容积层。因此，希望获得尽可能的最高热传递速度，如果可能的话高于为了提供调节余地而必须的精确的热传递速度，以确保处理温度能够始终被容易地保持在那些所需的限制范围内，所述限制范围可能构成非常窄的范围，例如 1 摄氏度。为此，所述装置设有热交换器结构 34，它紧贴地围绕外部主体 10 的外表面被装配。所述热交换器结构 34 可以是任何一种传统的已知类型的热交换器，但优选是冲击式热交换器（impingement heat exchanger），如申请人 2001 年 9 月 13 日申请的美国专利申请 No.60/318,985 所述和所要求保护的那样，这里通过参考合并所述专利申请的内容。

具体描述的所述装置为具有这样的过程的操作而设计，其中大量的气体材料是反应的副产品，结果，由气体、蒸汽和液体的混合物构成的反应材料的喷流通过出口 28 被强迫排出。喷流撞击在被加热器 38 加热的接收板 36 上，接收板 36 使气流沿径向向外转向，以进入形成在两个形状对应的结构 42 之间的截头圆锥体形通道 40 中。这些结构设有一系列加热器 44，它们被控制以将通道 40 的温度保持为期望值。板 36 和结构 42 被环形罩 46 包围，所述环形罩 46 的上端处具有气体出口 48，而在其下端处设有槽 50，从通道 22 排出的沉积在下部结构 42 上的液体能够排入所述槽 50 中并且通过出口 52 从装置排出。当通道中的蒸汽雾放射地向外移动时，通道中排放的蒸汽雾的速度减慢，并且将聚合和沉积在下部截头圆锥体形结构 42 上以排入槽 50 中；例如由膨胀金属的圆锥环形填充主体组成的除雾器 54 设置在通道 40 中，以确保所有的蒸汽与纯的气体成分分离。

因此，本发明的方法和装置提供了送入处理通道供处理的材料的相互扩散，其中，不需要主体 10 和 18 之间的相对旋转（如在申请人的未决美国申请 No.09/802,037（2001 年 3 月 7 日申请）中所描述的方法和装置所需要的那样），通过取消驱动电动机和支撑轴承等，显著地简化了装

置，并且减少了它的主要成本和操作成本。然而，由于需要较高的操作压力以确保在材料流经处理通道时经受达到所需值的层流剪切，以及确保通道中不出现污垢和阻塞物，因此上述所作的节约可能会被这种需要抵消。

在所述的实施例中，两个主体 10 和 18 的纵向轴线是重合的，从而通道 22 围绕其圆周具有均匀的径向尺寸。然而，也可以使两个轴线平行，并且设置成能够提供环状的具有变化的径向尺寸的相互扩散混合区域。并且，尽管在具体描述的实施例中，主体 10 和 18 是圆柱体形的并且一个设置在另一个中，然而在另外的实施例中，它们可以是扁平的并且平行以在它们之间提供对应的扁平形状的通道。然而，圆柱形横截面结构具有以下优点：具有沿径向向外的操作压力，这些操作压力作用在圆形结构上，这样比较容易将形成通道 22 的非常小的径向间隙保持在为了进行成功的连续操作可能需要的高压下所需的非常小的公差范围内，而扁平结构在这种条件下容易发生通道尺寸的弯曲和改变。

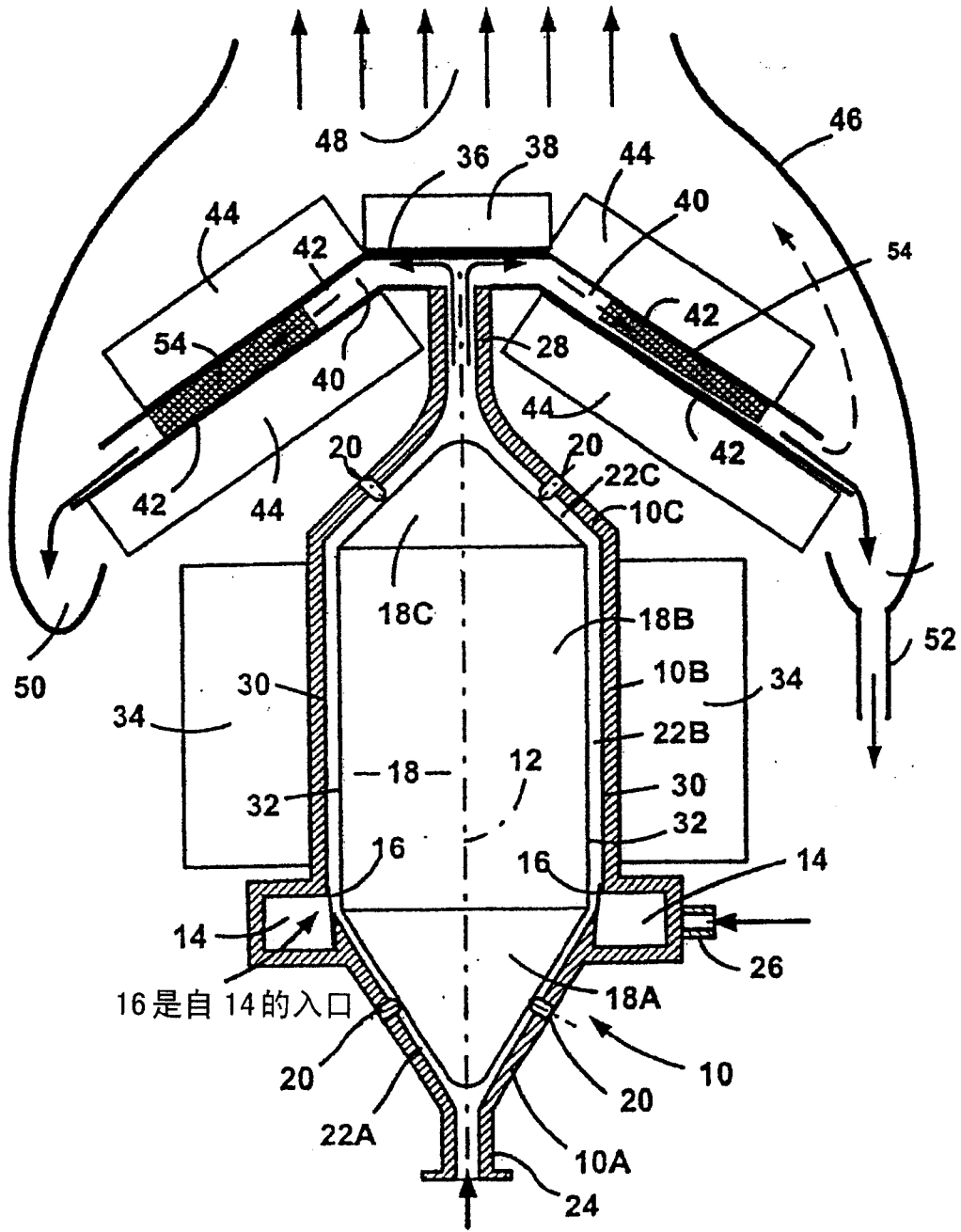


图 1

