(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105854664 A
(43)申请公布日 2016.08.17

(21)申请号 201610269169.6

(22)申请日 2016.04.27

(71)申请人 江南大学
地址 214122 江苏省无锡市蠡湖大道1800号

(72)发明人 郑志永 孙东东 詹晓北 高敏杰

(74)专利代理机构 哈尔滨市阳光惠远知识产权代理有限公司 23211
代理人 耿晓岳

(51)Int.Cl.
B01F 7/00(2006.01)
B01F 7/16(2006.01)
B01F 7/26(2006.01)
B01F 15/00(2006.01)

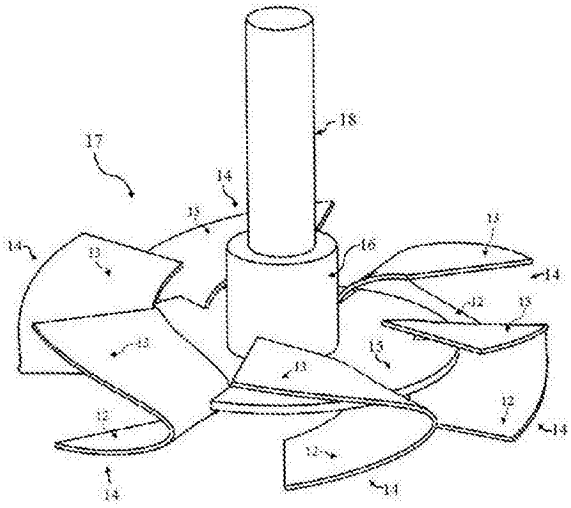
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种装配扇环型凹面叶片的气液分散搅拌器装置

(57)摘要

本发明公开了一种装配扇环型凹面叶片的气液分散搅拌器装置，属于生物工程、化学工程和环境工程装备领域。本发明的搅拌器装置是由搅拌叶轮、搅拌轴和动力装置三部分组成的，搅拌叶轮包括圆盘、轮毂和数个径向伸展的凹面叶片。每个叶片是由径向伸展且类似扇环形状的凹面组成，叶片上下两部分在水平面上的投影是两个弧度不同的扇环，上部投影所得扇环弧度大于下部，叶片类似扇环的形状与旋转方向相同，使得叶片的每一部分都正对来流，增加了叶片的利用效率，使搅拌器具有更低的能耗和高效的气液分散效率。本发明的气液分散搅拌器装置高效、节能，具有较低功率消耗、较高的混合性能及持气传质性能，能够高效节能的将气体分散于液体中。



CN 105854664 A

1.一种搅拌装置，包括搅拌叶轮、搅拌轴和动力装置；其特征在于，所述搅拌叶轮包含若干个径向伸展的凹面叶片；凹面叶片的上下部分在水平面上的投影形状为扇环，叶片的径向轮廓线、径向内侧边缘与径向外侧边缘都在以搅拌轴为中心的圆柱面上，叶片的上面部分投影得到扇环的弧度比下面部分得到扇环的弧度大。

2.根据权利要求1所述的搅拌装置，其特征在于，所述搅拌叶轮还包含圆盘、轮毂，凹面叶片安装在圆盘上；凹面叶片以圆盘平面为界分为上、下两部分；在叶片任一径向位置的轮廓线上，下面部分一点到圆盘平面的距离与上面部分对应点到圆盘平面的距离相等。

3.根据权利要求1或2所述的搅拌装置，其特征在于，所述轮廓线可以是抛物线、椭圆弧线、双曲线或圆弧线等类似曲线沿圆柱面弯曲而得到的空间曲线。

4.根据权利要求1所述的搅拌装置，其特征在于，叶片迎液面上面部分在圆盘平面投影得到的扇环弧度β的值在0.52～2.09之间。

5.根据权利要求1所述的搅拌装置，其特征在于，叶片迎液面下面部分和上面部分分别在圆盘平面投影所得扇环弧度α和β的比值一般在0.45～0.85之间。

6.根据权利要求1所述的搅拌装置，其特征在于，迎液面长度与搅拌器直径的比值在0.15～0.4之间。

7.根据权利要求1所述的搅拌装置，其特征在于，圆盘直径与搅拌器直径之比在0.5～0.8之间。

8.根据权利要求1所述的搅拌装置，其特征在于，叶片轮廓线投影在水平面上圆弧的弧度在径向延伸的过程中保持不变。

9.根据权利要求1所述的搅拌装置，其特征在于，叶片迎液面上下导边及尾边在水平面上投影的延长线相交于一点，该点为圆盘中心点。

10.含有权利要求1-9任一所述搅拌装置的设备。

一种装配扇环型凹面叶片的气液分散搅拌器装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种装配扇环型凹面叶片的气液分散搅拌器装置，属于生物工程、化学工程和环境工程装备领域。

背景技术

[0002] 气液两相混合广泛应用于通风发酵、氧化反应、氢化反应、生物曝气等过程单元。化工工程师期望能发明一种能实现高效气液分散的装置。目前能实现气液两相分散的装置主要有：(1)鼓泡塔反应器；(2)气升式反应器；(3)带气液分散搅拌器的搅拌装置；(4)基于旋转喷嘴的混合系统。

[0003] 径向流搅拌器是一类特别适合气液分散功能的搅拌器，包含轮毂、圆盘和多个均匀分布在圆盘上的叶片，它的圆盘能收集到搅拌器下方的气泡并导入至高剪切的叶片区域，从而产生良好的气液分散效果。1950年Rushton首先发明了Rushton搅拌器，在青霉素发酵等领域得到创新性的应用，开创了气液分散型搅拌器的先河。但人们逐渐发现它存在着一些缺点：(1)通气条件下的搅拌功率比不通气条件下的功率值下降约50％以上，这意味着较高的能量耗散和较低的气液传质效率；(2)在较低通气强度时就易发生气泛现象，导致气液分散能力受到削弱。以上两个缺点都是由于Rushton搅拌器在运行过程中，其桨叶背后易产生高速、低压的尾涡，从而导致流体边界层的分离。在气液分散过程中，尾涡的低压核心吸引气泡聚并并在桨叶背后形成气穴，而这些气穴正是导致能量耗散和效率低下的主要原因。

[0004] 在经典Rushton搅拌器的基础上，许多工程师对搅拌器叶片的形状、尺寸和细节结构做了许多调整和优化，开发了箭叶搅拌器、CD-6搅拌器(Smith搅拌器)、凹面搅拌器等，提高了搅拌器的气液分散效率。以上这些搅拌器的叶片都是上下对称的，直到1998年Bakker发明了不对称凹面桨——BT-6搅拌器，其上叶片前缘切向伸展并超出下叶片前缘，这样叶片就能捕获更多的气泡，而其更加深陷的凹面能显著减少叶片背后的气穴形成，从而提高气液分散效率和气泛点，使搅拌器的气液分散效率得到显著提升。

[0005] 径向流搅拌器的功率消耗既与搅拌转速、通气量、流体物性等条件有关，也与搅拌器的结构和安装条件有关。由于气穴现象的提出，使得径向流搅拌器的设计思路都往更凹陷的曲面发展。但有一个严重的问题是，在不增加叶片宽度的条件下采用更凹陷的叶片虽然能降低功耗，但径向排量性能也会大大降低。增加叶片宽度有利于改善其径向排量性能，但其外边缘顶点的直径远大于尾点的直径，使叶片在外边缘顶点区域产生极大的力矩和功率消耗，而对径向排量的贡献却很小。

发明内容

[0006] 为解决上述问题，本发明采用了一种特殊的类似于扇环形状的凹面叶片结构，将桨叶设计在水平面上投影为扇环的形状。这样设计的叶片使传统桨叶宽度的增加变为本发明中桨叶弧长的增加，外边缘顶点的直径与尾点的直径相等，避免了桨叶外围产生多余的

伸出部分，有效的改善了搅拌器的分散和混合性能。本发明采用桨叶的径向轮廓线是由凹形平面曲线沿圆柱面弯曲而得到的空间曲线，有利于气液两相在径向排出过程中实现高效分散。本发明的搅拌装置具有较低的功率消耗、较高的气液分散和混合性能，也极大的减小了气穴现象的发生，提高了气泛点，即在相同转速下可承受更高的通气量，增强了持气性能。

[0007] 本发明提供了一种用于反应器中气液分散和混合的搅拌器装置；所述装置包含了搅拌叶轮、搅拌轴和动力装置三部分；搅拌叶轮包含若干个径向伸展的凹面叶片；凹面叶片的上、下部分在水平面上的投影形状为扇环，叶片的上面部分投影得到的扇环的弧度比下面部分得到的扇环的弧度大。

[0008] 叶片的径向内侧边缘与径向外侧边缘都在以搅拌轴为中心的圆柱面上，两个圆柱面之间的半径差值为叶片的长度。以不同半径的圆柱面切割叶片，都可得到一条空间曲线，这些空间曲线称为径向轮廓线。径向轮廓线可以视为是由平面曲线沿圆柱面弯曲得到的，该平面曲线视为叶片的基本形状线。因此叶片的径向轮廓线在以搅拌轴为中心的圆柱面上。

[0009] 叶片的基本形状线包括两个顶点和一个尾点。以圆盘平面为界，尾点和上顶点之间的部分为上部形状线，尾点和下顶点之间的部分为下部形状线，尾点在水平面上。这样就构成了上下分叉的、夹角为锐角的基本形状线。该基本形状线被弯曲成轮廓线后，轮廓线中的顶点、尾点等结构特征都是与基本形状线中的点相对应。

[0010] 轮廓线上、下部分投影到水平面上得到两段圆弧。上部分轮廓线投影得到的弧长大于下部分，即上部分轮廓线投影得到的弧度大于下部分得到的弧度。

[0011] 以叶片径向最内侧轮廓线为基线，径向延伸一定长度即可得到叶片。在径向延伸过程中，各轮廓线上、下部分投影到水平面得到的弧的弧度保持不变，而弧长逐渐增大。轮廓线上、下顶点之间的轴向高度称为开口高度，开口高度在径向延伸过程中也保持不变。各轮廓线上顶点的连线构成了叶片的上导边，下顶点的连线构成了叶片的下导边，尾点的连线构成了叶片的尾边。叶片上导边、下导边及尾边都通过搅拌轴的中心线，它们在水平面上的投影线相交于一点，即圆盘的中心点。

[0012] 由于轮廓线的上部弧长大于下部弧长，因此径向延伸得到叶片后，叶片上部比下部多出一块扇环形状的突出部分。该突出部分的作用是利于捕获上升的气泡，增强搅拌器的持气能力。

[0013] 如上所述，该搅拌装置的叶片是一种类似于扇环的形状，叶片在水平面上的投影为扇环形状。这种叶片改变了以往径向流叶片只沿尾边所在半径方向平行伸展的方式，而是叶片的每一部分都是沿各自所在半径方向扩张伸展的，从而形成了上述类似扇环的形状。将叶片设计成上述形状，使叶片的轮廓线在叶轮旋转方向上，可以使叶片的每一部分都正对来流，从而将其径向排出，提高了叶片的利用效率。叶片上部较下部更多突出的部分有利于捕获上升的气泡，增强持气性能，从而使气泡易于被径向排出，分散在液体里面。

[0014] 在一种实施方式中，所述搅拌叶轮还包含圆盘、轮毂，凹面叶片安装在圆盘上；凹面叶片以圆盘平面为界分为上、下两部分。

[0015] 在一种实施方式中，每个叶片都具有一定厚度，其形状与迎液面相同。

[0016] 在一种实施方式中，叶片的径向内侧边缘与径向外侧边缘都在以搅拌轴为中心的

圆柱面上，两个圆柱面之间的半径差值为叶片的长度。

[0017] 在一种实施方式中，在叶片任一径向位置的轮廓线上，下部一点到水平面的距离与上部对应点到圆盘平面的距离相等。这样保证了叶片上、下伸展的统一，以使搅拌过程中的流场相对稳定。但叶片上部比下部更多突出的部分在叶片下部找不到对应的点。因此产生了部分方向向下的轴向流动，增强了叶轮底部的循环。

[0018] 在一种实施方式中，叶片迎液面上面部分在圆盘平面投影得到的扇环弧度β的值一般在0.52～2.09之间。

[0019] 在一种实施方式中，叶片迎液面下面部分和上面部分分别在圆盘平面投影所得扇环弧度α和β的比值一般在0.45～0.85之间。

[0020] 在一种实施方式中，所述搅拌叶轮还包括一个轮毂，连接圆盘和搅拌轴。

[0021] 在一种实施方式中，所述搅拌叶轮还包括一个水平的圆盘并且围绕圆盘安装了多个径向伸展类似于扇环的凹面叶片；叶片的不对称的上、下两部分在圆盘平面处相连。

[0022] 在一种实施方式中，所述圆盘的厚度不超过其半径，所述的叶片均匀分布于该圆盘周围。

[0023] 在一种实施方式中，圆盘直径与搅拌器直径之比在0.5～0.8之间。

[0024] 在一种实施方式中，迎液面的轴向高度与搅拌器直径的比值在0.1～0.35之间。

[0025] 在一种实施方式中，迎液面长度与搅拌器直径的比值在0.15～0.4之间。

[0026] 在一种实施方式中，搅拌叶轮的叶片个数在3～10个之间。

[0027] 在一种实施方式中，叶片迎液面上下导边及尾边在水平面上投影的延长线相交于一点，该点为圆盘中心点。

[0028] 在一种实施方式中，叶片轮廓线投影在水平面上圆弧的弧度在径向延伸的过程中保持不变。

[0029] 在一种实施方式中，叶片迎液面的轮廓线为空间曲线，可由椭圆弧线、圆弧线、抛物线或其他类似形状的平面曲线沿圆柱面弯曲得到。平面曲线的形状一般为抛物线。

[0030] 在一种实施方式中，所述搅拌器装置一般用不锈钢制造，也可用碳钢、高强度塑料等其他材料制造。

[0031] 在一种实施方式中，轮毂和圆盘可以是可拆对开式的，也可以是闭式的，可根据不同工况进行选择。

[0032] 在一种实施方式中，轮毂与搅拌轴的连接方式为紧固螺钉，或并紧螺栓，或平键来连接。

[0033] 在一种实施方式中，所述的搅拌装置，一般用于带有椭圆封头或碟形封头的圆柱形反应器内，安装在其中心轴线上。

[0034] 在一种实施方式中，搅拌器直径与反应器内径之比在0.25～0.6之间。

[0035] 在一种实施方式中，所述的搅拌器安装在反应器的底部，可单独使用，也可与其他搅拌器组合使用。

[0036] 在一种实施方式中，所述的搅拌器下需安装气体分布器，气体分布器的通气方向可以是向上也可以是向下。

[0037] 在一种实施方式中，所述的搅拌器在水平方向旋转，旋转方向为使叶片凹面正对来流的方向。

[0038] 本发明装置中的搅拌轴用于连接搅拌叶轮和动力装置，带动搅拌叶轮旋转以捕获上升的气泡并将其分散。搅拌叶轮通过轮毂加固与搅拌轴的连接。

[0039] 本发明的有益效果：

[0040] (1)本发明的搅拌装置的叶片是一种类似于扇环的空间形状，叶片在水平面上的投影为扇环形状。这种叶片改变了以往径向流叶片只沿尾边所在半径方向伸展的方式，而是叶片的每一部分都是沿各自所在半径方向伸展的，从而形成了上述类似扇环的形状。将叶片设计成上述形状，使叶片的任一径向轮廓线都在叶轮旋转方向上，可以使叶片的每一部分都正对来流，从而将其径向排出，提高了叶片的利用效率。叶片上部较下部产生的突出部分利于捕获上升的气泡，增强了持气性能，从而使气泡易于被径向排出，分散在液体里面。

[0041] (2)本发明的装置具有分散效率高、能耗低的特点，叶片背后的气穴更小，气体分散更充分，通气搅拌操作时气泛点更高。本发明高效、节能的气液分散搅拌器装置，可应用于通风搅拌发酵、氢化反应、氧化反应和生物曝气等反应器中，使其具有较低功率消耗、较高的混合性能及持气传质性能，能够高效节能的将气体分散于液体中。

附图说明

[0042] 图1：搅拌器装置在反应器中的正视图；

[0043] 图2：搅拌器的立体图；

[0044] 图3：搅拌器叶片迎液面的立体图；

[0045] 图4：搅拌器单个叶片迎液面的俯视图；

[0046] 图5：搅拌器单个叶片迎液面的正视图；

[0047] 图6：搅拌器的俯视图。

具体实施方式

[0048] 如图1和图2所示，本发明所涉及的搅拌装置(20)包括一个搅拌器(17)、一根搅拌轴(18)和一套动力装置(19)，其中搅拌器(17)包括一个圆盘(15)、一个轮毂(16)和几个径向伸展的叶片(14)。

[0049] 叶片(14)是由迎液面(12)向后增加一定的厚度得到的，加厚后得到叶片(14)，并得到背液面(13)。迎液面(12)的技术特征代表了叶片(14)的技术特征。

[0050] 如图3所示，迎液面(12)是由径向内边缘(10)、径向外边缘(11)、上导边(8)和下导边(9)围成的凹面形状，也是内边缘(10)径向延伸至外边缘(11)形成的类似于扇环的形状。内边缘(10)包括上顶点(3)、下顶点(4)和尾点(1)。外边缘包括上顶点(5)、下顶点(6)和尾点(2)。上顶点(3)径向延伸至上顶点(5)形成上导边(8)，下顶点(4)径向延伸至下顶点(6)形成下导边(9)，尾点(1)径向延伸至尾点(2)形成尾边(7)。

[0051] 内边缘(10)在尾点(1)所在径向位置的圆柱面上，外边缘(11)在尾点(2)所在径向位置的圆柱面上。尾边上每一径向位置的圆柱面与迎液面(12)相交部分都是和内边缘(10)和外边(11)形状相同的空间曲线，将其统称为迎液面(12)的轮廓线。轮廓线是由其尾点位置处与尾边垂直的平面曲线沿圆柱面弯曲得到的空间曲线。平面曲线的形状可以是椭圆弧线、抛物线、圆弧线或其他曲线形状，以抛物线为佳。

[0052] 如图4和图6所示，迎液面(12)在水平面γ上的投影为扇环形状。水平面γ为圆盘(15)所在的水平面。以水平面γ为界，可将迎液面(12)分为上下两部分。迎液面(12)上、下部分投影在水平面γ上形成两个弧度不同的扇环。

[0053] 如图4所示，内边缘(10)径向延伸至外边缘(11)的过程中，弧度是不变的。迎液面(12)的上导边(8)、下导边(9)在水平面上投影线及尾边(7)的延长线相交于一点0。点0为圆盘(15)的中心点。

[0054] 迎液面(12)上面部分在水平面γ上投影得到的扇环弧度(用β表示)大于下面部分在水平面γ上投影得到的扇环弧度(用α表示)，以使迎液面(12)上部产生比下部多出的突出部分，从而有利于捕获上升的气泡(23)以加强气液分散。迎液面(12)上面部分在水平面投影得到的扇环弧度β的值一般在0.52～2.09(对应圆心角为30°～120°)之间，以1.25(对应圆心角为72°)为最佳。迎液面下面部分投影所得圆环弧度α与上面部分投影所得弧度β的比值一般在0.45～0.85之间，以0.75(对应圆心角为43°)为最佳。

[0055] 如图5所示，迎液面(12)内侧边缘(10)的高度和外侧边缘(11)的高度是一致的。迎液面(12)内侧边缘(10)的高度是指其上顶点(3)和下顶点(4)之间的轴向高度；外侧边缘(11)的高度是指其上顶点(5)和下顶点(6)之间的轴向高度。同理，迎液面(12)任意径向位置处轮廓线的高度都是指其上下顶点之间的轴向高度。迎液面(12)任意径向位置处轮廓线的轴向高度都是相同的，这个轴向高度即是迎液面(12)的高度(用h表示)。

[0056] 以上所述为迎液面(12)的形状和尺寸特征，它代表了叶片(14)的形状和尺寸特征。叶片(14)为迎液面(12)向凹面外侧加厚得到。

[0057] 如图1、图2和图6所示，搅拌器(17)有六个叶片(14)安装在圆盘(15)上。叶片的数量可以是3～10个，6个更好。叶片(14)被均布于圆盘(15)周围，尾边(7)与圆盘(15)固定在一起，即叶片(14)被部分嵌入圆盘(15)中以保证其机械强度。圆盘(15)的直径(用d_3表示)与搅拌器(17)直径(用D表示)的比值最好在0.5～0.8之间，0.68更佳。

[0058] 迎液面(12)的轴向高度与搅拌器(17)直径D的比值最好在.0.1～0.35之间，0.2最佳。

[0059] 如图2、图6所示，迎液面(12)的长度(用L表示)与搅拌器(17)直径D的比值最好在0.15～0.4之间，0.3最好。

[0060] 圆盘(15)可以是其他形状，如中间镂空的条带状等。圆盘(15)的厚度要小于其半径。

[0061] 搅拌器(17)通过轮毂(16)与搅拌轴(18)连接，并且轮毂(16)可以使搅拌器(17)与搅拌轴(18)连接的非常牢固。

[0062] 如图6所示，轮毂(16)要在叶片(14)内侧范围之内，搅拌轴(18)的直径(用d_1表示)小于轮毂(16)的直径(用d_2表示)。搅拌轴(18)和轮毂(16)的直径要在保证其足够机械强度的情况下尽量小一点，以不影响搅拌器(17)的性能和整体流场。

[0063] 轮毂(16)和圆盘(15)既可以是可拆对开式的，也可以是闭式的，可根据不同工况进行选择。

[0064] 动力装置(19)包括电机和减速机(未详细画出)，能使搅拌器(17)获得旋转的动力。搅拌器(17)最好在水平方向上旋转，以保持其平衡。

[0065] 如图1所示，搅拌器(17)被用于装有一定量流体(25)的反应器(26)中，流体(25)可

以是一种液体、几种液体的混合物或颗粒悬浮物等，反应器(26)的形状可以是长方体、圆柱体等，以带有椭圆封头的圆柱体容器为佳。反应器(26)中一般加入挡板(22)，以防止或减小旋转时产生漩涡。

[0066] 搅拌器(17)直径D与反应器(26)直径(用T表示，图中未画出)比最好在0.25～0.6之间，0.4更佳。

[0067] 搅拌器(17)最好安装在反应器(26)的底部附近，可以单独使用，也可以与其他径向流或轴向流搅拌器组成搅拌系统组合使用。轮毂(16)与搅拌轴(18)的连接方式为紧固螺钉，或并紧螺栓，或平键来连接，使搅拌器(17)随着搅拌轴(18)一起旋转。使用时反应器(26)内的流体(25)需浸没搅拌器(17)，即液面(24)高于搅拌器(17)。

[0068] 搅拌器(17)的下面需安装气体分布器(21)，气体分布器(21)的作用是向流体(25)中通入气泡(23)。

[0069] 如图1所示，气体分布器(21)是一个通气环。气体分布器(21)还可以是一根或者几根通气管、金属烧结网或其他类型，气体分布器(24)的通气方向可以是向上，也可以是向下。其中以通气方向向上的通气环较为常用。

[0070] 搅拌装置(20)的材料为不锈钢，也可以是其他强度高且耐腐蚀的材料，如碳钢和高强度塑料等。

[0071] 搅拌装置(20)的具体操作如下：气体分布器(21)向反应器(26)内流体(25)中鼓入气泡(23)，气泡(23)因其密度低而上升，动力装置(19)提供动力使搅拌轴(18)和搅拌器(17)以一定转速在水平方向上旋转，旋转的叶片(14)捕获上升的气泡(23)，使其与周围的流体(25)一起沿径向运动，在运动过程中通过剪切作用使气泡(23)发生破碎从而分散在流体(25)中。在搅拌器(17)的上面和下面形成两个循环流型，通过气体分布器(21)中气泡(23)的释放和搅拌器(17)的旋转达到气液分散和混合的目的。

[0072] 此外，发明人还对比了本发明的搅拌装置与标准的Rushton搅拌器的搅拌效果。其中标准的Rushton搅拌器直径为180mm，搅拌转速为850r/min。结果发现，采用相同搅拌器直径和搅拌转速的本发明搅拌器，功率消耗仅为Rushton搅拌器的23％左右，相同轴功率条件下的径向排量是标准Rushton搅拌器的2.44倍左右。

[0073] 上述装置形式为本发明优选实例，但本发明的形式并不仅限于此，允许在一定范围内做出修改。

[0074] 虽然本发明已以较佳实施例公开如上，但其并非用以限定本发明，任何熟悉此技术的人，在不脱离本发明的精神和范围内，都可做各种的改动与修饰，因此本发明的保护范围应该以权利要求书所界定的为准。

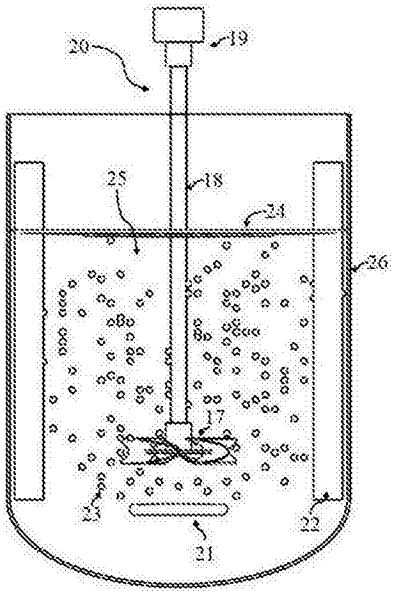

20
19
25
18
24
26
17
23
22
21

图1

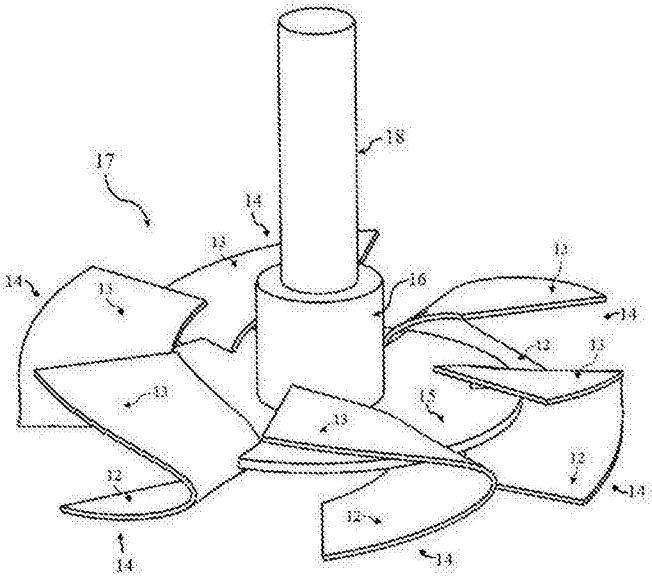

18
17
14
16
13
12
15
14

图2

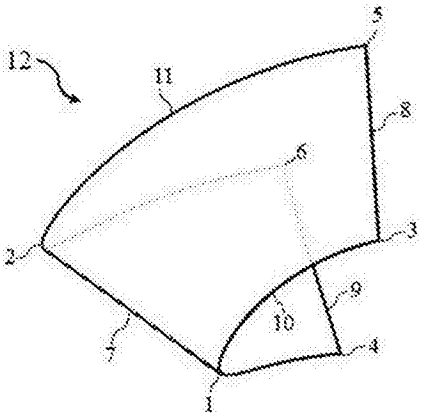

12
11
5
8
6
2
3
9
10
7
4
1

图3

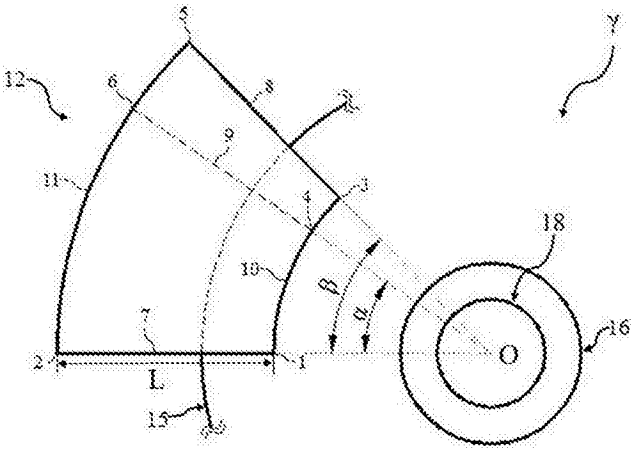

12
6
5
8
Y
9
11
3
4
18
10
α
β
7
2
1
O
16
L
15

图4

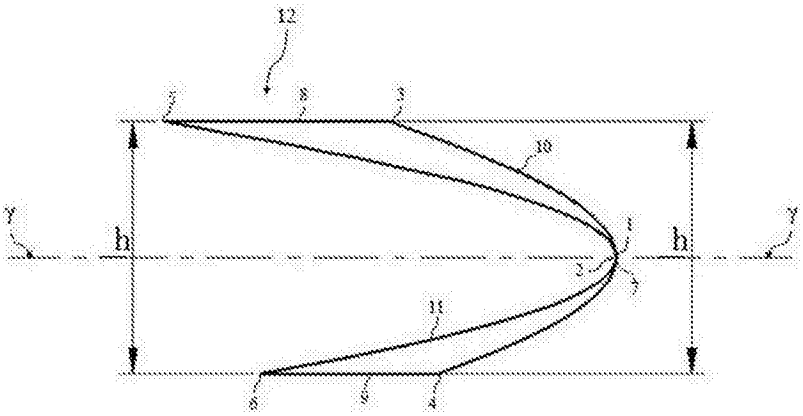

12
7
8
3
10
Y
h
h
Y
1
2
11
6
5
4

图5

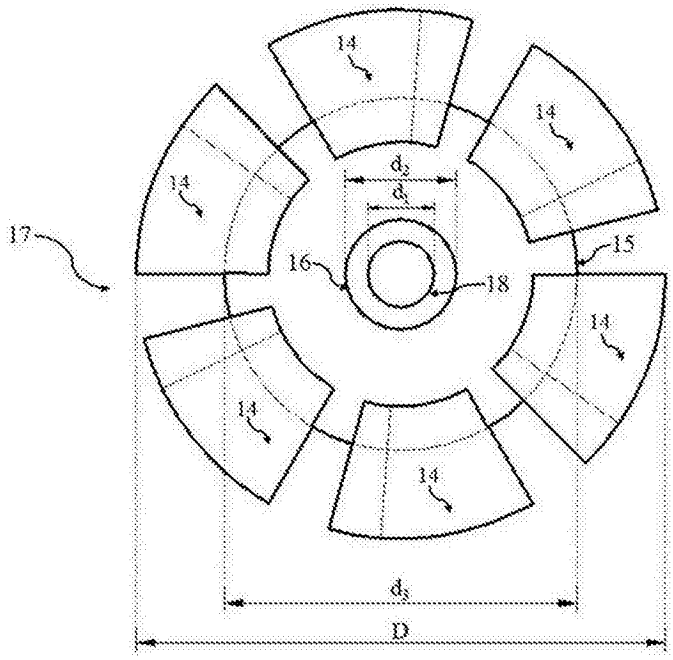


图6