



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108027171 B

(45)授权公告日 2020.01.17

(21)申请号 201680052033.8

A·钦尼奇 Z·田

(22)申请日 2016.08.12

(74)专利代理机构 北京市铸成律师事务所

(65)同一申请的已公布的文献号

11313

申请公布号 CN 108027171 A

代理人 王珺 徐瑞红

(43)申请公布日 2018.05.11

(51)Int.Cl.

(30)优先权数据

F24S 20/20(2018.01)

2015903261 2015.08.13 AU

F24S 80/00(2018.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2018.03.08

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/AU2016/000278 2016.08.12

(87)PCT国际申请的公布数据

WO2017/024338 EN 2017.02.16

(73)专利权人 阿德莱德大学

地址 澳大利亚,阿德莱德

(72)发明人 M·阿尔乔曼迪 G·J·内森

(56)对比文件

CN 104474993 A,2015.04.01,

CN 104785185 A,2015.07.22,

CN 104785446 A,2015.07.22,

EP 0509286 A1,1992.10.21,

US 2012141332 A1,2012.06.07,

AU 6800290 A,1991.06.20,

WO 2015048845 A1,2015.04.09,

US 2005210876 A1,2005.09.29,

审查员 陈苏苏

权利要求书2页 说明书16页 附图11页

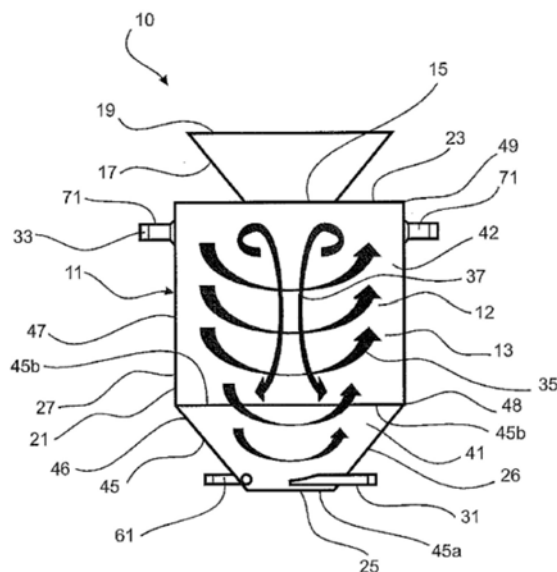
(54)发明名称

太阳能接收器

(57)摘要

一种太阳能接收器(10),其用于将吸热颗粒暴露于聚集的太阳能辐射。所述太阳能接收器(10)包括具有孔口(15)的腔室(13),通过所述孔口可以在所述腔室内接收聚集的太阳能辐射。提供了入口装置(31),用于将包含太阳能吸收颗粒的流入物引入到所述腔室(13)中。提供了出口装置(33),用于从所述腔室(13)中排出流出物。所述入口装置(31)与所述腔室(13)连通,用于将所述流入物引入到所述腔室(13)的与所述孔口(15)相对的第一部分(41)中。所述出口装置(33)与所述腔室(13)的安置在所述第一部分(41)和所述孔口(15)之间的第二部分(42)连通,其中从所述入口装置(31)到所述出口装置(33)的流体流暴露于在所述腔室(13)内接收到的聚集的太阳能辐射。所述第一部分(41)在朝向所述孔口(15)的方向上发散,而所述入口装置(31)被配置

成将所述流入物切向地引入到所述发散的第一部分中。



CN 108027171 B

1. 一种太阳能接收器,其包括:腔室,所述腔室具有孔口,通过所述孔口可以在所述腔室内接收聚集的太阳能辐射;入口装置,用于将包含太阳能吸收颗粒的流入物引入到所述腔室中;出口装置,用于从所述腔室中排出流出物,所述入口装置与所述腔室连通,用于将所述流入物引入到所述腔室的与所述孔口相对的第一部分中,所述出口装置与所述腔室的第二部分连通,所述腔室的所述第二部分安置在所述第一部分和所述孔口之间,其中从所述入口装置到所述出口装置的流体流暴露于在所述腔室内接收到的聚集的太阳能辐射,并且其中所述流体流建立具有涡流结构的流场,其中所述腔室的所述第一部分中的涡流强度比所述腔室的所述第二部分中的涡流强度更大,其中所述孔口位于所述太阳能接收器的最上方。

2. 根据权利要求1所述的太阳能接收器,其中所述第一部分被配置成在朝向所述孔口的方向上扩张的发散部分。

3. 根据权利要求2所述的太阳能接收器,其中所述入口装置被配置成将所述流入物切向地引入到所述发散的第一部分中。

4. 根据权利要求2或3所述的太阳能接收器,其中所述第一部分由圆锥形壁限定。

5. 根据权利要求4所述的太阳能接收器,其中所述腔室具有中心纵向轴线,并且所述圆锥形壁以所述中心纵向轴线为中心。

6. 根据权利要求4所述的太阳能接收器,其中限定所述腔室第一部分的所述圆锥形壁具有在约15度至65度范围内的锥角。

7. 根据权利要求5所述的太阳能接收器,其中所述腔室的所述第二部分以所述腔室的所述中心纵向轴线为中心。

8. 根据权利要求7所述的太阳能接收器,其中所述第二部分被配置成围绕所述腔室的所述中心纵向轴线呈圆锥形或圆柱形。

9. 根据权利要求1-3中任一项所述的太阳能接收器,其中所述第一部分和所述第二部分限定腔室壁和所述腔室壁中的圆周边缘。

10. 根据权利要求5所述的太阳能接收器,其中所述孔口具有以所述中心纵向轴线为中心的圆形配置。

11. 根据权利要求10所述的太阳能接收器,其中所述孔口由所述腔室的壁环绕。

12. 根据权利要求1-3中任一项所述的太阳能接收器,其中所述腔室包括前端和后端,所述前端并入有用于接收聚集的太阳能辐射的所述孔口并且所述后端并入有所述入口装置。

13. 根据权利要求1-3中任一项所述的太阳能接收器,其中所述出口装置在与所述孔口间隔开并且紧邻所述孔口的位置处通过其一侧通向所述腔室。

14. 一种太阳能接收器,其包括:腔室,所述腔室具有孔口,通过所述孔口可以在所述腔室内接收聚集的太阳能辐射;入口装置,用于将包含太阳能吸收颗粒的流入物引入到所述腔室中;出口装置,用于从所述腔室中排出流出物,所述入口装置与所述腔室连通,用于将所述流入物引入到所述腔室的与所述孔口相对的第一部分中,所述出口装置与所述腔室的第二部分连通,所述腔室的所述第二部分安置在所述第一部分和所述孔口之间,其中从所述入口装置到所述出口装置的流体流暴露于在所述腔室内接收到的聚集的太阳能辐射,所述第一部分在朝向所述孔口的方向上发散,所述腔室的所述第一部分由锥形配置的壁限

定,由此提供发散配置,并且所述入口装置被配置成将所述流入物切向地引入到所述发散的第一部分中,其中所述孔口位于所述太阳能接收器的最上方。

15.一种通过使用根据权利要求1至14中任一项所述的太阳能接收器将颗粒暴露于聚集的太阳能辐射来加热颗粒的方法。

16.一种通过将颗粒暴露于聚集的太阳能辐射来加热所述颗粒的方法,所述方法包括以下步骤:建立包含所述颗粒的流体流;将所述流体流引入到太阳能接收器中,在所述太阳能接收器中,所述颗粒被暴露于通过孔口进入腔室的聚集的太阳能辐射;将所述流引入到远离所述孔口的所述腔室的第一部分中以建立具有涡流结构的流场,其中所述腔室的所述第一部分中的涡流强度大于更靠近所述孔口的所述腔室的第二部分中的涡流强度;其中所述流场促进空气动力学分类以根据粒度来控制所述腔室内的所述颗粒的停留时间分布,由此相对于小颗粒的停留时间,延长较大颗粒的停留时间,其中所述孔口位于所述太阳能接收器的最上方。

太阳能接收器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于将吸热颗粒暴露于聚集的太阳能辐射的太阳能接收器。

[0002] 本发明还涉及一种使用太阳能接收器将吸热颗粒暴露于聚集的太阳能辐射的方法,并且还涉及一种通过使用太阳能接收器将颗粒暴露于聚集的太阳能辐射来加热颗粒的方法。

背景技术

[0003] 以下关于背景技术的讨论只是为了便于理解本发明。这些讨论不是承认或认可截止本申请的优先权日期所提到的任何材料是或曾是公知常识的一部分。

[0004] 由于人类对于人类活动排放的温室气体对全球气候变化的认识日益提高,加上减轻空气污染的必要性,长期而言化石燃料的资源有限性,参与可再生能源技术不断增长的市场的愿望,利用太阳能等可再生能源的技术正受到越来越多的关注。聚集式太阳热能(CST)是一个迅速发展的技术领域,因为它具有利用整个太阳能光谱,通过实现高温来实现高效率的能力以及与传统热能技术的良好兼容性。将来自太阳的聚集的太阳能辐射转移到最终产品的最有效的方式是通过颗粒“云”(即密集的颗粒的悬浮物)通过孔口或通过窗口直接照射,而不是穿过管壁。这是因为管壁的温度比太阳低得多,受到其熔化温度的限制,从而减少了传热量。颗粒还具有额外的优点,即它们是有用的辐射吸收体,并且它们非常适合于热能的高温储存,这比储存电能更便宜,且更有效,而能量储存对于缓和聚集的时有时无这一特点是必要的。颗粒可以是惰性的,也可以是能起反应的,后者提供了进一步的优点:化学能载体是长期的,可运输的,且可调度的。在CST系统中用于利用颗粒来捕获辐射的装置被称为“颗粒接收器”。

[0005] 用于高温情况下的太阳能颗粒接收器通常采用空腔型配置,既能装盛颗粒,又能控制热量损失。这样的配置包括限定了空腔的良好绝热的外壳以及用于有效捕获入射的聚集太阳能辐射的开口或孔口。将固体原料微粒加热到高温的方法可以分为两种:直接照射和间接照射的接收器。在前者中,直接用聚集的太阳能辐射照射颗粒,要么通过窗口,要么通过孔口,而在后者中,来自太阳能辐射的热量通过对流和辐射,通过接收辐射的反应器壁传递。间接照射的接收器的工作温度受到壁吸收器的热特性限制,而直接照射的配置却没有这种限制,这会导致加热速率更快,且动力学增强,以及实现更高温度的能力。

[0006] 直接照射的颗粒接收器可以用于工业过程中的加热,包括燃料和化学品生产的太阳能或用于加热动力循环中的工作流体(例如布雷顿循环中的空气),用于发电。固体颗粒可以充当储热和传热介质或作为可以在其上发生化学反应的“底物”。

[0007] 二十世纪八十年代首先提出的一种固体颗粒接收器的概念,被称为“下落颗粒云接收器”,是为热和热化学应用而开发的。这个接收器通常安装在塔顶,以捕获来自定日镜场的聚焦太阳能。沙粒大小(100-1000 μm)的陶瓷颗粒自由落入太阳能接收器,形成一个帘状物,直接吸收穿过孔口的聚集太阳能辐射。一旦被加热,颗粒可被收集在绝热箱中和/或用于加热二次工作流体(例如空气、蒸汽、 CO_2)。由于太阳能被直接吸收到惰性颗粒内部,因

此,避免了与其他太阳能接收器(例如管状中央接收器)相关的热通量限制,并可以达到高温(高于1000°C)。

[0008] 然而,尽管有其优点,但下落颗粒接收器配置也包含若干缺点。尤其是:

[0009] a) 它没有办法根据粒度来控制空腔内的颗粒停留时间。几项研究表明,空腔效率和颗粒出口温度随着粒度的增大而降低。这是因为较大的颗粒由于较高的热容量而需要比较小的颗粒更长的停留时间。事实上,粒度的增大会导致颗粒垂直速度的增大(较大的颗粒比较小的颗粒下落更快),从而缩短了大颗粒在接收器内的停留时间。因此,这种方法对于单分散颗粒是最有效的,这会大大提高成本。

[0010] b) 空腔内的颗粒停留时间短。提高颗粒温度的方法包括使用再循环和其他手段来延长颗粒在接收器内的停留时间,如障碍物、斜板、多孔结构、螺旋和离心接收器。但是,高温环境中的物理组件会降低系统的可靠性。另外,这些方法也不能根据粒度来控制空腔内的颗粒停留时间。

[0011] c) 颗粒与集料斗、结构或其他颗粒的撞击会引起颗粒的磨损,降解和耗损,因此颗粒接收器必须以宽范围的粒度运行。由于上述原因,导致处理效率降低。

[0012] 在另一种装置中,也可以采用固体颗粒来提高常规立体式接收器的效率。容积式接收器利用具有大内表面积 of 块(例如蜂窝)来吸收辐射,并通过对流将热传递到周围的流体。一项研究报告了对一种小颗粒空气接收器(10KW)的实验评估,在该接收器中,用亚微米碳颗粒充入工作气体中,以吸收辐射。发现这些颗粒在增强传热方面特别有效,使得在接收器出口处能达到非常高的温度(高达1800°C)。此外,颗粒云部分地将接收器腔体的壁与聚集照射隔开,减少了与常规立体式接收器相关的一些材料和结构限制。但是,这种设备也提出了几个挑战:

[0013] a) 它需要开发能在接收器中保持颗粒的均匀且高的浓度的固体/气体悬浮系统,因为颗粒的散射特性和停留时间随粒度而显著变化;

[0014] b) 它要求使用亚微米颗粒,它们难以在接收器出口处与流体中分离;

[0015] c) 它没有解决避免颗粒沉积在窗口上的问题。由于立体式接收器的主要应用在燃气轮机中,因此,在加热之前需要对空气进行加压。这需要一个窗口。还没有人提出防止这种沉积的方法。

[0016] 颗粒接收器-反应器对颗粒接收器执行另外的反应过程,使得颗粒经历吸热和化学转化。总是利用太阳能接收器-反应器来驱动吸热反应,因此,除了显热之外,还需要额外的反应停留时间。此外,还必须提供良好的反应物混合和良好的环境空气密封性,以避免不必要的反应。已经开发了几种颗粒接收器-反应器,以在接收器内提供不同的停留时间范围和/或传送不同的载送流体和反应物以及固体颗粒。根据一些研究,太阳能颗粒接收器-反应器可以分为填充床、流化床和夹带流反应器。每组都有其特征粒度、停留时间和操作温度。这种分类也适用于使用惰性颗粒的固体颗粒接收器。此外,重要的是要注意,对于分析的每个反应器组,对惰性颗粒的加热具有与化学反应颗粒相同的基本问题,但是细节不同。

[0017] 颗粒的加工要求和颗粒接收器的选择基本上取决于粒度和其他特性,如密度、孔隙率和反应时间。具体而言,粒度会显著影响颗粒内部的传热和传质。这些可以用无量纲的数字来描述。颗粒内的温度均匀性由毕奥数(Biot number) Bi 来描述,其定义为:

$$[0018] \quad Bi = \frac{h d_p}{k_s},$$

[0019] 其中 h 是外部传热系数, k_s 是固体颗粒的热导率, d_p 是颗粒直径。对于小的 Bi ($\ll 1$),温度在整个颗粒体积内是均匀的,而对于大的 Bi ($\gg 1$),颗粒内部存在陡峭的温度梯度。这些梯度会显著影响到颗粒的传热行为,从而影响整个加热过程。重要的是要注意, Bi 随粒度线性增大。文献综述表明,大多数夹带太阳能反应堆的特点是 Bi 很小,而填充床和流化床的值则较高。

[0020] 类似于传热,颗粒内部的传质可以用舍伍德数 Sh 来描述,其中 Sh 被定义为:

$$[0021] \quad Sh = \frac{h_m d_p}{D},$$

[0022] 其中 h_m 是气体与颗粒之间的传质系数, D 是流体的质量扩散系数。如对于 Bi 所强调的那样, Sh 也取决于粒度,并且随着粒度的增大而线性增大。这意味着颗粒内部的传质行为会随着颗粒直径而显著地变化。

[0023] 夹带流太阳能反应器在升高的温度下操作,通常高于1500K,以补偿其相对较短的停留时间。颗粒需要有微米大小(通常为1-200 μm),才能使颗粒保持悬浮状态,即“被夹带”,通过直接吸收通过孔口进入空腔的太阳能辐射,在反应器腔内被加热和/或充分反应。在所有已知的太阳能夹带流反应器中都采用涡流以通过使颗粒保持在壁附近,使大部分颗粒远离孔口,来延长颗粒停留时间,并增大太阳能吸收。因此,这些反应器也被称为太阳能涡流反应器(SVR)。

[0024] 与SVR相比,流化床提供更高的容积负荷,延长的颗粒停留时间和颗粒与气体之间的对流混合。在直接照射的太阳能流化床中,床受到聚集的太阳能辐射直接照射,并且颗粒在湍动中通过工作流体而呈半悬浮状态,直到它们完全反应或达到足够小的尺寸以被流体洗脱并从床带走。由于流化床的传热和传质速率高,因此,流化床内的温度分布非常均匀。操作工作条件取决于流化固体颗粒的类型和大小以及流化状态的选择。操作受限于最小的流态化速度,即使床流态化所需的最小速度,这也需要压降。最小速度的细节取决于许多因素,包括颗粒的形状、大小、密度和多分散性。由于其特点,相对于SVR,流化床可以处理较大的颗粒(毫米数量级),而工作温度一般低于 SVR (800-850 $^{\circ}\text{C}$)。然而,流化床反应器通常高而窄,因此床顶部的表面积相对较低。由于这个原因,太阳能流化床中的床层传热受到这个表面积的限制。具有窗孔的直接照射流化床太阳能反应器的已知实例属于具有内循环流化床太阳能气化器的类型。在这样的布置中,使用 CO_2 作为气化剂在低于900 $^{\circ}\text{C}$ 的温度下成功气化焦炭颗粒(粒度范围设定为75-710 μm)。

[0025] 填充床太阳能反应器通常具有最大的颗粒,这需要最长的颗粒停留时间并且在三组中达到最低工作温度。工作流体(通常为蒸汽或 CO_2)从上方或下方通过反应物材料的填充床,而固体颗粒被太阳能辐射加热。尽管在这些类型的反应器中可以获得高的化学储存效率,但是对于工业上的规模扩大来说,固定床反应器具有几个技术缺陷,例如传热和传质的限制,停留时间长以及添加新的床材料更困难。

[0026] 虽然这些太阳能反应器的概念彼此不同,但它们表现出一些共同的关键问题。尤其是:

[0027] a) 在夹带流和填充床反应器中,颗粒停留时间分布大致与粒度无关。这个限制对反应器的尺寸或大颗粒的化学转化率和反应器效率有负面影响,因为较大的颗粒比小颗粒需要较长的停留时间(通常是与直径成比例的倍数到三次方)才能加热和/或实现完全转换。结果,对于针对较小颗粒的反应器,大颗粒被处理不足,导致较低的颗粒温度和总的太阳能-化学转化效率。或者,如果反应器的尺寸适合大颗粒,那么对于小颗粒来说,其尺寸需要过大,导致更高的成本,反应器中的平均温度更高,这又导致通过孔口的更高的辐射损失。相反,在流化床反应器中,颗粒停留时间分布取决于粒度。颗粒保留在床中,直到达到淘洗直径。较小的颗粒由于其较小的终端速度而更有可能被淘析出来。高淘洗率转化为较短的颗粒停留时间,这又会降低转化率;

[0028] b) 这些接收器-反应器以宽范围的粒度操作。这首先是因为大多数颗粒发生器(例如磨粉机、研磨机)产生宽的尺寸分布,其次,因为颗粒反应器产生颗粒破碎和磨损,这会将原始颗粒破碎成更小的尺寸。第三,许多类型的化学反应器在反应时会消耗颗粒,使得颗粒在多个处理阶段之后不断收缩。然而,目前的接收器-反应器没有被设计成最佳地适应不同尺寸的颗粒。此外,由于颗粒质量对颗粒直径的立方依赖关系,腔内大颗粒的数量相对较少,而细颗粒的数量相对较大;

[0029] c) 反应器窗口是反应器的关键部分。虽然这具有减少辐射损失的优点,但它容易受到颗粒沉积的影响。任何颗粒沉积都会对直接照射颗粒接收器技术的可靠运行提出巨大的挑战,因为它会降低太阳能效率并导致窗口局部发热,从而导致系统潜在的故障。

[0030] 总之,这些问题共同意味着大颗粒在颗粒接收器-反应器中需要比小颗粒更长的停留时间才能被完全处理。如果设计一个反应器使得所有颗粒都具有相似的停留时间,则反应器的尺寸取决于最大颗粒的尺寸,所以反应器对于平均颗粒而言尺寸过大,并且变得比可以根据颗粒直径来控制颗粒停留时间的情况大得多,并且昂贵得多。相比之下,如果反应器可以被设计成为较大颗粒提供比较小颗粒更长的停留时间,则反应器可以更小且更便宜。这也将降低反应器中颗粒的平均温度,从而减少通过孔口的辐射损失。

[0031] 那么,这些问题产生了需要能够提供根据粒度和反应时间来控制颗粒停留时间分布(RTD)的手段。也就是说,对于不同的过程,大颗粒与小颗粒的最佳停留时间比率将会变化。目前的太阳能颗粒接收器-反应器不提供根据颗粒直径和/或反应时间来控制停留时间的任何手段。

[0032] 用于太阳能燃料热化学生产的CST使用聚集的太阳能辐射作为能源来提供驱动吸热化学反应所需的高温过程热量,为能源领域的化石燃料脱碳提供了一条可行的途径。在可用的太阳能燃料生产方法中,特别感兴趣的是诸如煤、生物质或废物材料之类的碳质固体材料的基于蒸汽的太阳能气化,该方法可以用来将这些原料材料转化成优质合成气,主要是 H_2 和CO,可用于高效联合循环和燃料电池的发电,或用于在费托合成过程中产生液体燃料。使用太阳能代替自热反应来提供工艺用热的优点很多。这包括碳质原料的热值提高,产品合成气中 H_2 与CO的比率更高,由于缺乏燃烧,污染物排放减少。然而,这种技术目前比传统气化更昂贵,所以需要进一步的创新来降低成本。

[0033] 在所有直接照射的太阳能接收器/反应器中,太阳能涡流反应器(SVR)被认为是最有前景的概念之一,被成功地应用于石油焦粉、焦水浆和液化真空渣油的蒸汽气化。

[0034] 美国专利7,024,857、7,449,158和8,257,454中公开了几种SVR的实例。

[0035] SVR的当前设计由带有窗孔的圆柱形空腔和复合抛物面聚光器 (CPC) 组成。通过切向入口将颗粒注入反应器中以在反应器内产生涡流, 这会将颗粒输送到反应器中, 并实现对聚集的太阳能辐射的有效吸收。典型的反应器温度在1300-1800K范围内, 这对许多热化学反应是常见的。尽管如此, 目前的设计虽然有其优点, 但也存在以下缺陷, 需要进一步解决。尤其是:

[0036] a) 相对于小颗粒, 大颗粒被处理不足。如上所述, 这是由于反应器内颗粒停留时间分布与粒度无关造成的。注意, 虽然较大颗粒的数量相对较低, 但其质量分数相当大。

[0037] b) 空腔内的颗粒停留时间相对较短, 所以需要非常高的工作温度(1400K以上) 和高反应性的原料才能弥补这个缺点。尽管停留时间将随着规模而延长, 但仍然希望在每个规模下延长最大颗粒的停留时间;

[0038] c) SVR在反应器窗口上会发生颗粒沉积。目前的缓解策略采用被配置成产生清洁气体的“幕”的辅助气体射流, 其试图减轻颗粒在窗口表面上的沉积。然而, 使用辅助气体入口会显著降低工艺过程的效率, 因为所需的净化气体的质量速率足够大, 从而构成明显的显热连带损失。这一策略也增大了CapEx和OpEx的整个工艺流程的成本。最后, 净化气体喷嘴的最佳配置取决于在腔体内建立的流体动力学流结构, 使得它们的使用倾向于降低操作灵活性, 并将操作限制在限制性更强的工作条件范围内。

[0039] d) SVR配置中的最新技术采用了窗口。这既有优点, 也有缺点。它允许控制空腔中的空气, 允许适度的增压, 并通过防止气体和颗粒通过它的进出来避免局部污染物排放。它也减少了辐射损耗, 因为它对较长的辐射波长是不透明的。窗口还允许一定量的增压, 这在一些应用中具有优势。然而, 由于生产大型窗口的制造局限性, 通常也昂贵, 限制了反应器的最大尺寸。另外, 太阳能吸收效率也会降低, 特别是在任何颗粒沉积的情况下, 它会容易破损。无窗口反应器, 如果可以用于避免大量进出的配置中, 则可能是许多应用的优选替代方案, 但是先前未提出过无窗配置。

[0040] 正是针对这一背景, 以及与之相关的问题和困难, 开发了本发明。虽然本发明是在这样的背景下开发的, 但是它并不一定需要克服上面提到的任何或全部的问题和困难。相反, 本发明可以仅提供用于将吸热颗粒暴露于聚集的太阳能辐射的替代布置。

发明内容

[0041] 根据本发明的第一方面, 提供了一种太阳能接收器, 其包括: 腔室, 其具有孔口, 通过该孔口可以在腔室内接收聚集的太阳能辐射; 入口装置, 用于将包含太阳能吸收颗粒的流入物引入到腔室中; 出口装置, 用于从腔室中排出流出物, 入口装置与腔室连通, 用于将流入物引入到腔室的与孔口相对的第一部分中, 出口装置与腔室的第二部分连通, 腔室的第二部分安置在第一部分与孔口之间, 其中从入口装置到出口装置的流体流暴露于在腔室内接收到的聚集的太阳能辐射, 并且其中所述流建立具有涡流结构的流场, 其中腔室的第一部分中的涡流强度比腔室的第二部分中的涡流强度更大。

[0042] 通常, 涡流强度与距孔口的距离成反比。

[0043] 利用这种布置, 流场可以促进空气动力学分类, 从而根据粒度来控制腔室内颗粒的停留时间分布, 由此相对于小颗粒的停留时间, 延长了较大颗粒的停留时间。

[0044] 涡流结构可以通过腔室的配置与流入物进入腔室的输送方式相结合来建立, 所述

布置用于形成沿着大致螺旋形的路径朝向孔口前进的涡流。在涡流的核心区域内产生逆流。

[0045] 在腔室的第一部分内或在第一部分附近的腔室区域,涡流模式可以接近强制涡流的涡流模式,而在腔室的第二部分内或在第二部分附近的腔室区域,涡流模式可以是组合(自由和强迫)涡流的涡流模式。

[0046] 优选地,腔室被配置成使得所述第一部分在朝向孔口的方向上扩张;也就是说,第一部分在朝向孔口的方向上发散。

[0047] 此外,入口装置可被配置成将流入物切向地引入到发散的第一部分中。

[0048] 入口装置可以将流入物作为单个流动流或多个流动物流引入到发散的第一部分中。入口装置可以包括一个或多个切向入口。每个入口都可以具有排出端,该排出端在其远离孔口的末端附近,向腔室的第一部分开口。

[0049] 腔室的第一部分可以由锥形配置的壁限定,由此提供发散配置。通常,锥形配置由限定腔室的第一部分的具有截头圆锥形状的壁提供。换句话说,圆锥形配置通常不会收敛到顶点,但是它可以这样做。

[0050] 优选地,腔室具有中心纵向轴线,并且限定腔室第一部分的圆锥形壁以中心纵向轴线为中心。

[0051] 限定腔室第一部分的锥形壁可以具有任何适当尺寸的锥角(在圆锥形壁和中心纵向轴线之间限定的角度)。相信在约15度至65度范围内的锥角可能是最合适的。更具体地说,认为约40度至65度范围内的锥角可能是有利的,约45度的角度被认为是最佳的。

[0052] 锥角的减小会导致涡流的核心区域内的逆流更强。这可以有利于孔口附近的再循环。

[0053] 腔室的第二部分也可以以腔室的中心纵向轴线为中心。

[0054] 腔室的第二部分优选为圆形横截面;也就是说,在垂直于腔室的中心纵向轴线的截面上是圆形的。

[0055] 腔室的第二部分例如可以是围绕腔室的中心纵向轴线的圆锥形或圆柱形。

[0056] 在腔室第二部分围绕腔室的中心纵向轴线是圆锥形的情况下,其可以包括圆锥形的腔室第一部分的延续部分。换句话说,腔室可具有锥形壁,锥形壁的第一部分界定腔室第一部分,而锥形壁的第二部分界定腔室第二部分。

[0057] 在腔室第二部分围绕腔室的中心纵向轴线是圆柱形的情况下,其直径可以等于限定腔室第一部分的截头圆锥形壁的较大端部的直径。

[0058] 腔室第二部分可以与腔室第一部分邻接,由此腔室两个部分的相邻端部具有共同的直径。

[0059] 腔室第一部分和腔室第二部分之间的接合处可以限定腔室壁中的圆周边缘。腔室壁中的圆周边缘的存在可以有助于形成具有涡流结构的流场。

[0060] 孔口也可以是圆形配置,也以腔室的中心纵向轴线为中心。

[0061] 孔口可以有一个窗口(如石英窗口),虽然它不一定要这样做,因为它可能是一个开放的孔口。

[0062] 孔口可以由腔室的壁环绕。

[0063] 在一种布置中,腔室可以包括前端和后端,前端并入有用于接收聚集的太阳能辐

射的孔口。利用这种布置,前端将限定环绕孔口的腔室的壁。限定腔室第一部分的截头圆锥形壁可以从后端向前端延伸。腔室还可以包括在前端和后端之间延伸的侧面,侧面提供限定腔室第一部分的截头圆锥形壁。

[0064] 入口装置可以被并入在后端中。

[0065] 出口装置可以在与孔口隔开并紧邻孔口的位置处通向腔室。更具体地,出口装置可通过其一侧在与孔口隔开并紧邻孔口的位置处通向腔室。在太阳能接收器如此配置和安置使得孔口位于最上面的情况下,出口装置可以定位在孔口的平面的下方。出口装置可以包括单个出口或多个出口。一个或多个出口可相对于腔室径向布置。在一个实施方案中,出口装置可以包括相对于彼此以直径相对关系安置的两个出口。

[0066] 在存在多个出口的情况下,期望具有偶数个出口,因为这可以确保对称涡流(涡流较不易发生流体动力学不稳定性)。

[0067] 在存在多个出口的情况下,希望所有出口都位于同一平面上,以建立稍后讨论的类型的流场。

[0068] 出口或每个出口的直径及其方向会影响腔室内的颗粒轨迹。较大颗粒相对于较小颗粒的优先保留通过以下方式实现:a) 缩小一个或多个出口的直径或b) 增加一个或多个出口相对于流的切向路径的角度。与切向出口方向相比,径向取向的使用增强了较大颗粒的保持力,使得前者可被认为是典型的有用角度。理想的是,入口和出口的面积被选择为实现大致相同的入口和出口速度,以避免过高的压降,同时有效地在腔室内相对于较小的颗粒,优先保留较大的颗粒。然而,这两个参数都是设计变量,优选的角度可能不是径向的,而出口尺寸可能与上面讨论的不同。

[0069] 太阳能吸收颗粒直接暴露于腔室内的聚集的太阳能辐射,这提供了直接加热以有效地将热传递至颗粒。

[0070] 太阳能吸收颗粒可以包括可以接受显热的惰性颗粒或者可以响应于来自太阳能辐射的热量而起化学反应的颗粒,或者可以响应于来自太阳能辐射的热量而接受显热和化学反应的颗粒,或者上述颗粒的任何混合物。

[0071] 由太阳能吸收颗粒吸收的能量可用于驱动反应过程。因此,太阳能接收器可以提供太阳能反应器。

[0072] 对于化学反应颗粒而言,该布置可允许颗粒保留在腔室内,直到它们完全反应和/或被消耗。这可以更容易地实现各种粒度的颗粒的完全化学转化。以这种方式,与某些已有的现有技术反应器相比,反应器的太阳能到化学转化效率得到改善。

[0073] 然而,化学反应颗粒不需要完全反应和/或被消耗。例如,颗粒可以在从腔室排出之前仅部分地反应和/或被消耗。具体而言,颗粒可以被反应和/或消耗到一定程度以将其减小到有助于从腔室排出的粒度。

[0074] 与某些已有的现有技术反应器相比,该反应器可以具有改进的处理包含具有不同粒度和组成的非均相原料的流入物的能力。

[0075] 与某些已有的现有技术反应器相比,该反应器可以具有改进的处理包含较低反应性原料的流入物的能力。

[0076] 根据本发明的第二方面,提供了一种太阳能接收器,其包括:腔室,其具有孔口,通过该孔口可以在腔室内接收聚集的太阳能辐射;入口装置,用于将包含太阳能吸收颗粒的

流入物引入到腔室中；出口装置，用于从腔室中排出流出物，入口装置与腔室连通，用于将流入物引入到腔室的与孔口相对的第一部分中，出口装置与腔室的第二部分连通，腔室的第二部分安置在第一部分与孔口之间，其中从入口装置到出口装置的流体流暴露于在腔室内接收到的聚集的太阳能辐射，第一部分在朝向孔口的方向上发散，腔室的第一部分由锥形配置的壁限定，由此提供发散配置，并且入口装置被配置成将流入物切向地引入到发散的第一部分中。

[0077] 根据本发明的第二方面的太阳能接收器可以具有上面关于本发明的第一方面所述的任何一个或多个特征，无论是单独的还是组合的。具体而言，根据本发明的第二方面的太阳能接收器中的入口装置可以将流入物作为单个流动流或多个流动流引入到发散的第一部分中。此外，圆锥形配置可以由限定腔室第一部分的截头圆锥形壁提供。

[0078] 根据本发明的第三方面，提供一种使用根据本发明的前述方面中的任一方面的太阳能接收器将吸热颗粒暴露于聚集的太阳能辐射的方法。

[0079] 根据本发明的第四方面，提供了一种通过使用根据本发明的前述方面中的任一方面的太阳能接收器将颗粒暴露于聚集的太阳能辐射来加热颗粒的方法。

[0080] 根据本发明的第五方面，提供了一种通过将颗粒暴露于聚集的太阳能辐射来加热颗粒的方法，该方法包括以下步骤：建立包含颗粒的流体流；将流体流引入到太阳能接收器中，在太阳能接收器中，颗粒被暴露于通过孔口进入腔室的聚集的太阳能辐射；将流引入到远离孔口的腔室的第一部分中以建立具有涡流结构的流场，腔室的第一部分中的涡流强度大于更靠近孔口的腔室的第二部分中的涡流强度；其中流场促进空气动力学分类以根据粒度来控制腔室内的颗粒的停留时间分布，由此相对于小颗粒的停留时间，延长较大颗粒的停留时间。

附图说明

[0081] 在下面对其几个非限制性实施方案的描述中更全面地描述本发明的其他特征。本描述仅仅是为了举例说明本发明的目的。不应将其理解为对如上所述的发明的广泛概述、公开或描述的限制。将参考附图进行描述，其中：

[0082] 图1是根据本发明的太阳能接收器的第一实施方案的示意性侧视图；

[0083] 图2是图1所示的布置的示意性下侧视图；

[0084] 图3是太阳能接收器的示意性侧视图，其特征在于太阳能接收器的腔室内的三维流场的简化表示；

[0085] 图4是图3所示的布置的示意性平面图；

[0086] 图5是类似于图1的视图，不同之处在于还描绘了主要推导的颗粒轨迹的轴向分量；

[0087] 图6是类似于图2的视图，不同之处在于还描绘了在出口平面处的主要推导的颗粒轨迹的切向和径向分量；

[0088] 图7包括各种视图，它们一起提供了太阳能接收器的腔室内的三维流场的简化表示以及推导出的颗粒轨迹的关键特征；

[0089] 图8图示了与根据第一实施方案的太阳能接收器的各种配置中的平均颗粒停留时间相关的数据，现有技术太阳能接收器的对应数据以及根据第一实施方案的太阳能接收器

的标称反应器停留时间；

[0090] 图9是示出根据第一实施方案的太阳能接收器的各种配置的几何细节的表格；

[0091] 图10图示了与根据第一实施方案的太阳能接收器的各种配置有关的某些数据以及现有技术的太阳能接收器的相应数据；

[0092] 图11图示了与根据第一实施方案的太阳能接收器有关的某些数据；

[0093] 图12是示出与第一实施方案的太阳能接收器的各种配置有关的某些数据的表格；以及

[0094] 图13是根据本发明的太阳能接收器的第二实施方案的示意性侧视图。

[0095] 在附图中，相同的结构在几个视图中通过相同的标号来引用。所示的附图不一定按比例绘制，而是通常将重点放在说明本发明的原理上。

[0096] 构成附图的图形描绘了本发明的各种实施方案。各实施方案说明了某些配置；然而，应认识到，本发明可以采取许多配置的形式，同时仍然体现本发明，这对于本领域技术人员来说是显而易见的。这些配置将被认为在本发明的范围内。

具体实施方式

[0097] 广义上，附图中所示的实施方案均针对其中太阳能吸收颗粒直接暴露于聚集的太阳能辐射以从其吸收热量的太阳能接收器。

[0098] 太阳能接收器被布置成从太阳能源捕获热能，如本领域技术人员将很好理解的。例如，太阳能源可以包括布置成朝着太阳能接收器反射阳光的定日镜场。在这样的布置中，太阳能接收器可以安装到定日镜场之上的塔上。但是，也可以使用抛物面盘和其他聚光装置。

[0099] 例如，太阳能接收器可以用作其中聚集的太阳能辐射被用作高温工艺用热源的太阳能反应器。由颗粒吸收的热能被用于驱动在太阳能反应器内进行的反应过程。

[0100] 现在将更详细地描述本发明的几个示例实施方案。

[0101] 现在参考图1至6，以示意性截面图示出了根据本发明的太阳能接收器10的第一示例实施方案。太阳能接收器10包括限定空腔12的容器11，空腔12提供具有孔口15的腔室13，通过孔口15，可以在腔室13内接收聚集的太阳能辐射。在所示的布置中，孔口15装配有复合抛物面聚光器(CPC)17和窗口19以减少来自腔室13的辐射损失。

[0102] 容器11包括被配置成限定腔室13的壳体21。腔室13具有前端23、后端25以及在前端23和后端25之间延伸的侧面27。孔口15安置在前端23。

[0103] 腔室13具有中心纵向轴线29，前端23和后端25沿着中心纵向轴线29轴向分隔开，并且以相对的关系安置。孔口15是圆形的，并且以中心纵向轴线29为中心。孔口15的直径是 d_{ap} 。

[0104] 容器11包括用于将流入物引入到腔室13中的入口装置31以及用于从腔室13中排出流出物的出口装置33。入口装置31和出口装置33朝向腔室13的相对端部定位，而从入口装置31到出口装置33的流暴露于可通过孔口15在腔室13内接收的聚集的太阳能辐射。稍后将更详细地描述入口装置31和出口装置33。

[0105] 通过入口装置31输入腔室13的流入物包含夹带在工作流体中的太阳能吸收颗粒。正如本领域技术人员所理解的那样，太阳能吸收颗粒的性质可根据太阳能接收器10的具体

应用而变化。在太阳能接收器10的某些应用中,太阳能吸收颗粒可以例如包括惰性颗粒,所述惰性颗粒可以接受显热而没有任何热分解;即太阳能吸收颗粒仅起到吸热器和载体的作用,而不会发生状态或热分解的变化。在太阳能接收器10的某些其他应用中,太阳能吸收颗粒可以例如响应于来自太阳能辐射的热而发生化学反应。在太阳能接收器10的其他应用中,太阳能吸收颗粒例如可以响应于来自太阳能辐射的热量而接受显热和化学反应。在太阳能接收器10的其他应用中,可能会存在太阳能吸收颗粒的混合物,其中一些颗粒是惰性颗粒以接受显热而没有任何热分解,而其中的另一些颗粒响应于来自太阳能辐射的热而发生化学反应。

[0106] 在太阳能接收器10的一个特定应用中,太阳能吸收颗粒可以包括旨在在太阳能接收器10中被加热或处理的原料。举例来说,在太阳能接收器10被布置成用作太阳能反应器的情况下,太阳能吸收颗粒可以包括旨在接受化学反应的颗粒,被颗粒吸收的聚集的太阳能提供必要的热量以驱动反应过程。为了气化,原料可以包含碳质原料,而工作流体可以包含蒸汽,其中原料在反应器中接受热分解。在这样的实例中,碳质原料可以包括尺寸在约1至1000 μm 范围内的球形碳颗粒,而工作流体可以包含温度为约1000K的蒸汽。

[0107] 正如本领域技术人员所理解的那样,通过出口装置33从腔室13排出的流出物的性质可根据太阳能接收器10的特定应用而变化。举例来说,在太阳能吸收颗粒包含旨在接受显热而没有任何热分解的惰性颗粒的布置中,流出物可以包括通过在腔室13内暴露于聚集的太阳能辐射而被加热的颗粒,以及夹带了颗粒的工作流体。此外,在太阳能吸收颗粒包括响应于来自太阳能辐射的热量而发生化学反应的颗粒的布置中,流出物可以包括反应过程的化学产物。颗粒可能会被反应过程完全消耗或部分消耗。在后一种情况下,被部分消耗的颗粒的粒度将比其原始状态小。

[0108] 腔室13被如此配置,以便与经由入口装置31将流入物输送到腔室13中的方式相结合,它形成沿着大致螺旋形的路径朝向孔口15前进的涡流。涡流在从入口装置31到出口装置33的流中产生涡流结构,涡流结构在图3中示意性地示出,并通过附图标记35表示。在涡流的核心区域内产生逆流,也如在图3中示意性地示出,并通过附图标记37表示。

[0109] 具体而言,腔室13被配置成包括第一部分41,入口装置31与第一部分41连通,由此流入物被切向地输送到第一部分41中,以形成涡流结构35,如稍后将更详细地描述的。腔室13还包括第二部分42,出口装置33与第二部分42连通,用于从腔室排出流出物。

[0110] 腔室13的第一部分41在朝向孔口15的方向上发散,以促进涡流结构35的形成。具体而言,腔室13的第一部分41由圆锥形配置的壁45限定,从而提供发散配置。壁45限定腔室的侧面27的一部分。

[0111] 限定腔室第一部分41的壁45的圆锥形配置更具体地是截头圆锥形的,具有较小直径端部45a和较大直径端部45b。如图所示,较小直径端部45a邻近腔室13的后端25。在下文中,壁45将被称为锥形壁。

[0112] 锥形壁45与后端25配合以有效地为腔室13提供锥形基部46。

[0113] 如图1所示,限定第一部分41的锥形壁45具有锥角 α ,该锥角是在锥形壁45和中心纵向轴线29之间限定的角度。在所示的布置中,锥角 α 是45度,这对于本实施方案来说被认为是最佳的。但是也可以采用其他的锥角。相信在约15度至65度的范围内的锥角 α 可能是特别合适的,在约40度至65度的范围内的锥角可能是有利的。

[0114] 减小锥角 α 会导致涡流结构35的核心区域内的逆流37更强。这可以有利于孔口15附近的再循环。在孔口15具有窗口(例如石英窗口)的情况下,在孔口15附近没有再循环可能是有利的,因为这可以降低颗粒在窗口上沉积的倾向。这在孔口没有窗口的情况下也可以是有利的,因为不存在再循环可以有助于减少或避免通过孔口的连接热损失和微粒泄漏。

[0115] 腔室13的第二部分42也以中心纵向轴线29为中心。第二部分42是圆形的横截面;也就是说,它在垂直于中心纵向轴线29的截面上是圆形的。

[0116] 在该实施方案中,腔室13的第二部分42具有圆柱形的配置。利用这种布置,腔室的第二部分42具有圆柱形壁47。圆柱形壁47限定腔室的侧面27的另一部分。第二部分42也可以使用其他配置,例如包括圆锥形配置(如将在后面描述的第二实施方案中所使用的)。

[0117] 圆柱形壁47的直径等于限定腔室第一部分41的截头圆锥形壁45的较大直径端部45b的直径。

[0118] 腔室第二部分42与腔室第一部分41邻接,由此腔室两个部分的相邻端部具有共同的直径,对应于圆柱形壁47的直径和截头圆锥形壁45的较大直径端部45b的直径。该直径表示反应器直径 D_c 。

[0119] 腔室第一部分41和腔室第二部分42之间的接合处限定腔室的侧面27中的圆周边缘或角部48。此外,腔室13的侧面27和前端部23之间的接合处在腔室13中限定另外的圆周边缘或角部49。如后面将要解释的,腔室13中的圆周边缘或角部48、49的存在有助于形成具有涡流结构35的流场。

[0120] 如上所述,入口装置31被布置成将流入物切向地引入到发散的第一部分41中以有利于形成涡流结构35。在该实施方案中,入口装置31被布置成将流入物作为多个流动流引入到腔室13中。为此目的,入口装置31包括多个切向入口61,在所示的布置中有四个入口。如图2所示,每个切向入口61都具有排出端63,排出端63靠近后端25,向腔室的第一部分41开口。也如图2所示,排出端63的轮廓与锥形壁45的相邻弧形部分基本一致,以辅助流入的流形成具有涡流结构35的流场。在该实施方案中,每个切向入口61都包括入口管。入口装置31不一定需要包括多个切向入口61,而可以例如包括单个入口。

[0121] 在该实施方案中,如图1至图4所示(尽管不一定在其他附图中),出口装置33包括两个相对于腔室13径向安置的出口71,紧邻孔口15。与切向出口方向相比,使用径向取向增强了较大颗粒的保留。两个出口71彼此径向相对。出口装置33不一定需要包括多个出口71,而可以例如包括单个出口。

[0122] 在该实施方案中,每个出口71都包括出口管。每个出口管道的直径及其方向都会影响腔室13内的颗粒轨迹。较大的颗粒相对于较小颗粒优先保留是通过a)缩小出口管的直径,或者b)增大出口(一个或多个)71相对于流的切向路径的角度,来实现的。如前所述,与切向出口方向相比,径向取向的使用增强了较大颗粒的保持力,使得前者可被认为是典型的有用角度。

[0123] 理想的是,入口装置31和出口装置33的横截面流动面积被选择为实现大致相同的入口和出口速度,以避免过高的压降,同时相对于较小颗粒,将较大的颗粒有效地保留在腔室13内。但是,这两个参数都是设计变量。例如,优选的角度可以不是径向的,而出口尺寸可以与上面讨论的不同。

[0124] 由于入口装置31位于腔室13的与孔口15相反的一端,并且由于腔室13被配置成提供发散的第一部分41,流入物经由入口装置31切向地输入到第一部分41中,这样形成的涡流结构35在紧邻前端23和孔口15的腔室13的区域弱得多。这减少了颗粒沿着涡核穿过孔口15的轴向输送。

[0125] 此外,由于入口装置31位于腔室13的与孔口15相反的一端,并且由于腔室13的圆锥形基部46的存在,在涡流结构35内形成中心再循环区,产生逆流37。该逆流37驱使颗粒离开孔口15而不是朝向它。

[0126] 最后,在腔室第一部分41内或在第一部分41附近的腔室13的区域中,涡流结构35的涡流模式接近的强制涡流的涡流模式,以及在腔室第二部分42内或在第二部分42附近的腔室区域,涡流模式接近组合(自由和强制)涡流的涡流模式。

[0127] 孔口15的直径 d_{ap} 要求小于涡旋结构35在孔口的平面处的核心的直径,以阻止颗粒通过孔口的输送。锥角 α 影响涡流结构35在孔口15的平面处的直径和强度。对于固定的锥角,孔口直径与反应器直径比(d_{ap}/D_c)在约0.125至0.25的范围内的值对于减少颗粒沉积是理想的。

[0128] 如上所述,在约40度至65度范围内的锥角 α 可能是有利的。范围内的锥角值促进较大颗粒的再循环,并且实现窗口上的颗粒沉积的减少,以及降低颗粒沉积到腔室13的第一部分41的圆锥形壁45上的倾向。

[0129] 容器11可以以任何朝向安装,只要能够通过孔口15将聚集的太阳能辐射引导到腔室13中即可。然而,将容器11安装在腔室13的中心纵向轴线29大致竖直并且孔口15位于最上方的方向上是有利的,因为这样可以利用重力效应。它还有利于用于通过孔口15将聚集的太阳能辐射输送到腔室13的向下照射配置。

[0130] 具体而言,使用重力连同最下方的腔室的锥形基部46的定位提供了将较大的颗粒比较小的颗粒更长时间地保持在腔室13中的配置。另外,照射配置还提供了各种优点,例如将接收器10安装在地面上的能力以及从周围的定日镜场收获辐射的能力。锥形基部26位于腔室底部的定向增强了腔室内较大颗粒的再循环,并延长了它们在那里的停留时间。向下的配置还便于将太阳能接收器10的至少一部分并可能全部封闭在诸如塔架之类的支撑结构内,以增加太阳能接收器对风的遮蔽,作为避免对流损失的进一步手段和/或在无窗接收器的情况下完全控制少量颗粒流出的任何影响。

[0131] 图5和图6示意性地示出了较大的颗粒被保留在腔室13内而较小的颗粒被从其移除的机制。在附图中,较大颗粒的典型流动路径由附图标记81表示的流动线描绘,并且较小颗粒的典型流动路径由附图标记83标识的流动线描绘。

[0132] 如所描绘的,小颗粒遵循气体流动路径,而较大的颗粒偏离流线。虽然大颗粒和小颗粒通过它们的惯性被导向侧面27,但是当较大的颗粒与圆锥形壁45的端部处以及腔室的前端23处的边缘或角部48、49相互作用时朝向腔室13的中心移动。另外,大颗粒也不能遵循在出口装置33处发生的平均流量的大梯度,使得它们被保持在腔室13内。锥形壁45还降低了最大颗粒沉积到锥形壁45的表面上的倾向,因为流动速度缩短了轴向距离,随着锥角朝向 90° 增大,这种倾向对于水平取向可能会增大。另外,将出口装置33定位在孔口15下方并且定位在径向方向上会相对于小颗粒而言,阻止大颗粒离开腔室13。最后,将入口装置31定位在腔室13的与孔口15相对一端处会导致腔室内的涡流不太强烈。这将导致较大的颗粒

更倾向于降低到沉降速度以下并返回到腔室13的底部,尤其是在腔室竖直的情况下。图5还示出了入口装置31在腔室13的与孔口15相对一端部处的取向会导致众所周知的处于回旋流状态的中央再循环区域。

[0133] 以上对根据第一实施方案的太阳能接收器10的描述并非旨在穷举或限于所公开的精确形式。

[0134] 为了提供关于根据第一实施方案的太阳能接收器10的进一步的信息,下面将参考附图的图7至图12提供进一步的描述。进一步的描述提供了有关涡旋结构的进一步细节并提供了对颗粒沉积的分析。提供进一步的描述是为了进一步解释如何形成和使用本实施方案,并且还进一步解释根据本发明的技术的实施方案的操作,而不是限制其真实的,预期的和合理的范围和精神。当参考上述对第一实施方案的描述考虑时,在下面的描述以及图7至图12中,存在一些冗余。

[0135] 在下面的描述中,根据第一实施方案的太阳能接收器10由首字母缩略词SEVR表示,其代表太阳能扩展-涡流接收器/反应器。

[0136] 此外,在下面的描述中,引用了被称为“Z'Graggen”的现有技术的太阳能接收器/反应器。Z'Graggen太阳能接收器/反应器属于美国专利 7,449,158和8,257,454中公开的类型。

[0137] SEVR的形状已经通过使用经过验证的计算流体动力学(CFD)模型和商业ANSYS软件确定。其性能也通过CFD分析,使用颗粒分散模型确定,该模型的可行性已被科学文献证明。这个分析已经被用来计算颗粒停留时间分布(RTD)、颗粒轨迹,并描绘反应器腔内的涡流结构的特征。通过将反应器性能与流量和几何参数相关联,该分析还被用于开发可以控制RTD并且可以避免颗粒沉积的设计标准。

[0138] 除了CFD分析外,还建立了一个实验室规模的SEVR,并对其进行了测试,以研究腔内的流场和颗粒在窗口上的沉积。已经证明 SEVR可以被配置成由于特有的流场,在不使用密封气体来遮蔽窗口的情况下极大地减轻接收器/反应器窗口上的颗粒沉积,从而证实了所开发的CFD模型的预测。

[0139] 图7a至7d共同呈现了基于CFD分析的SEVR内主要推导的颗粒轨迹的示意图。图7对应于图3至图6。可以看出,小颗粒跟随气体流动路径,而较大的颗粒偏离流线。虽然大颗粒和小颗粒在其惯性的影响下都被导向由侧面27限定的壁,但是当较大的颗粒与锥形壁45和腔室13的顶部的角部48、49相互作用时,朝向腔室13的中心移动。另外,大颗粒也不能遵循在出口装置33限定的出口处发生的平均流量的大梯度,使得它们被保持在腔室内。锥形壁45还降低了最大颗粒沉积到膨胀的壁上的倾向,因为流动速度随着轴向距离而减小,而随着锥角朝向90°的增大,对于水平取向,这种倾向可能会增大。另外,将出口装置33定位在孔口15下方并且定位在径向方向上会相对于小颗粒而言,阻止大颗粒离开腔室。最后,将入口装置31定位在腔室13的与孔口15相对一端处会导致腔室内的涡流不太强烈。这将导致较大的颗粒更倾向于降低到沉降速度以下并返回到腔室的底部,尤其是在腔室竖直的情况下。图7a还示出了入口装置31限定的入口在腔室13的与孔口15相对一端部处的取向会导致众所周知的处于回旋流状态的中央再循环区域将再循环的颗粒驱离孔口15,而不是对于原始SVR配置那样,朝向它。

[0140] 图8呈现了三种不同配置(SEVR-40、SEVR-50和SEVR-65)的平均停留时间,粒度 d_p

在1-1000 μm 范围内变化。SEVR-40, SEVR-50 和SEVR-65配置分别指的是40、50和65度的锥角值 α 。所有被研究的配置的几何细节在图9中呈现为表1。

[0141] 图8还报告了现有技术SVR配置(称为‘Z’Graggen, 1MW’配置) 的标称反应器停留时间(V/Q)和计算的平均停留时间。

[0142] 可以看出,对于所提出的配置,较大颗粒的停留时间比为‘Z’Graggen, 1MW’配置计算出的停留时间高,而且这种差异随粒度而增大。例如,对于 $d_p=100\mu\text{m}$ 和 $d_p=1000\mu\text{m}$,对于配置SEVR-40的计算平均颗粒停留时间分别比为‘Z’Graggen, 1MW’配置计算出的平均颗粒停留时间大2倍和9倍。这个趋势导致这样的结论:可以使用锥体来产生具有足够强的梯度的惯性流动,以使较大的颗粒不能跟随,并且相对于较小的颗粒优先保持在空腔内。圆柱形腔室的圆锥形底部还将任何再循环的颗粒回流到腔室底部处的涡流核心,以再次被夹带到高速流中并再循环。图8还表明, α 缩小会导致腔室中较大颗粒的停留时间延长。

[0143] SEVR与Z’Graggen配置的不同之处,不仅是添加了一个圆锥形底座,而且还使出口朝向径向方向并位于孔口的平面之下。如已经描述的那样,反应器的入口也位于腔室的与孔口相对的一端。这些因素中的每一个都有助于延长较大颗粒的停留时间。为了分别量化它们对较大颗粒停留时间的贡献,对具有圆柱形状的SEVR配置(SEVR-90)和具有切向出口(SEVR-40,切向出口)的SEVR-40配置进行计算。在图8中报告了这两种配置的计算出的颗粒平均停留时间。这表明,具有切向出口的SEVR-40的较大颗粒的 τ 与对于原始SEVR配置所计算的平均停留时间相比较低,表明出口的径向取向和其被定位在孔口平面下方增强了较大颗粒向腔室的再循环。这些计算还表明,对于圆柱形腔体(SEVR-90),较大颗粒的 τ 大幅缩短,因为这些颗粒倾向于沉积在壁上而不是在腔室内再循环。这个结果进一步突出了锥形基座在SEVR内较大颗粒优先再循环的机理中的关键作用。最后,尽管使用圆柱形空腔显著缩短较大颗粒的 τ ,但SEVR-90的特征在于与为Z’Graggen配置计算出的平均停留时间相比较,较大颗粒的 τ 较大。这提供了进一步的证据,即将反应器的入口定位在腔室的与孔口相对的端部处的选择也具有将较大的颗粒保持在腔内的有益效果。

[0144] 图10针对几种反应器配置,作为孔口平面上的涡流数 S_{ap} 的函数,给出了孔口平面处的涡流核心的计算直径相对于孔口直径的比较 $d_{vmax,ap}/d_{ap}$ 。在一次参数调查中,孔口大小被固定在 $D_c/d_{ap}=3$,而锥角是变化的(SEVR-15、SEVR-30、SEVR-40、SEVR-50和SEVR-65)。在另一参数调查中,锥角固定在 $\alpha=40^\circ$,而孔口的直径是变化的(SEVR-A600、SEVR-A200和SEVR-A150)。可以在表1中找到所有这些配置的几何细节(图9)。在所有情况下,腔室长度 L 和输入流量条件是固定的。 $d_{vmax,ap}$ 的值是根据孔口正下方平面中的切向速度最大值的轨迹来计算的。图10还作为 S_{ap} 的函数,显示了从反应器腔体通过孔口的容积流速相对于总入口流速的比率 Q_{xap}/Q 的变化。Z’Graggen等人(2006)的配置的计算性能也有报道,以供参考。可以看出,对于固定的 D_c/d_{ap} , α 的增大会导致 S_{ap} 和 Q_{xap}/Q 的缩小,并且导致孔口平面中的涡流核心的直径增大。具体而言,对于 $\alpha \geq 40^\circ$, $d_{vmax,ap}/d_{ap}$ 大于1。对于这种情况,通过孔口的流体流速低,并且孔口的平面处涡流的强度被计算为不足以推动颗粒通过孔口。对于 $\alpha \geq 40^\circ$ 的配置,建模的颗粒轨迹(未报告)的可视化表明,没有任何建模的颗粒轨迹被计算为穿透进入围绕孔口上方的SC的腔室,这提供了强有力的证据,特征为 $d_{vmax,ap}/d_{ap} > 1$ 和小 S_{ap} 的配置提供了缓解颗粒沉积到反应器窗口的潜力。相反,对于 $\alpha < 40^\circ$, $d_{vmax,ap}/d_{ap} < 1$ 。这种情况表明,孔口平面中的涡流强度很强,这可以预期导致流体流从反应器通过孔口的强烈再循环,

这意味着颗粒沉积在窗口上的强烈倾向,与可视化显示的颗粒轨迹一致。

[0145] 可以看出,固定 $\alpha=40^\circ$ 和变化 d_{ap} (配置SEVR-A600、SEVR-A200 和SEVR-A150)导致了 S_{ap} 的变化。具体而言,可以看出,增大 d_{ap} 会导致 S_{ap} 增大,并且会导致 $d_{vmax,ap}/d_{ap}$ 缩小到 <1 的值,使得颗粒渗入空腔。相比之下,目前对于Z' Graggen配置的计算结果表明,这种情况的特征是 $d_{vmax,ap}/d_{ap}<1$ 以及非常高的 S_{ap} ,与通过孔口输送颗粒的强烈倾向一致,这与实验观察结果一致,即:这种配置非常容易发生颗粒沉积。(这一观察结果也突出了将反应器入口定位在腔室的与孔口相对的一端以在孔口平面处获得更弱的涡流的重要性)。结合上述信息,假设在孔口平面上产生大于 d_{ap} 的涡流核心($d_{vmax,ap}/d_{ap}>1$)的那些配置也将在那里产生低强度的涡流,从而降低了颗粒沉积在反应器窗口上的可能性。

[0146] 图11给出了改变粒度 d_p ,对于不同的 d_{ap}/D_c 和恒定的颗粒负载($\phi=2e^{-5}$),相对于入口颗粒总质量,沉积到反应器窗口上的测量的和计算出的总颗粒质量, $m_{p,window}/m_{p,in}$ 。实验研究的SEVR配置的几何细节在图12中呈现为表2。在实验活动中,用惰性颗粒充入流体中,通过使用高精度天平($10^{-4}g$ 精度)称量聚集到窗口上的颗粒来测量反应器窗口上的颗粒浓度。本研究采用的颗粒为平均直径为 $d_p=10、20$ 和 $40\mu m$ 的固体聚合物球体(Microbeads Spheromers),其标准偏差为 $\sigma_p\leq 5\%$ 。粒度分布窄是颗粒选择的核心,粒度分布真正是单分散的。在数值分析中也考虑了直径 $d_p=100\mu m$ 的单尺寸颗粒注入。颗粒的密度是 $\rho_p=1200kg/m^3$ 。

[0147] 可以看出,在CFD模型和测量的沉积物之间有很好的 consistency。可以看出,对于小颗粒,随着孔口直径增大,颗粒沉积会增多。对于以 $d_{vmax,ap}/d_{ap}>1$ ($d_{ap}/D_c=0.125$ 和 0.25)为特征的反应器配置,孔口的平面中的涡流强度不足以推动颗粒通过孔口。具体而言,对于这些配置,测量的颗粒沉积非常低($m_{p,window}/m_{p,in}<0.1\%$),证实了模型的预测。另外,对于所有研究的反应器配置,发现较大的颗粒($d_p=100\mu m$)不沉积在反应器窗口上,与以前的SVR配置相比,进一步突出了本发明的潜在优点。

[0148] 图13中示出了本发明的第二实施方案。第二实施方案在某些方面类似于第一实施方案,并且使用对应的附图标记来标识对应的部分。

[0149] 在第二实施方案中,腔室13的第二部分42也是圆锥形的。具体而言,第二部分42围绕腔室13的中心纵向轴线29是圆锥形的,并且包括圆锥形的腔室第一部分41的延续部分。换句话说,腔室13具有锥形的侧面27,锥形的侧面27的第一部分27a界定腔室第一部分41,锥形的侧面27的第二部分27b界定腔室第二部分42。

[0150] 从上述描述可知,根据本发明的太阳能接收器的各种实施方案可以被配置成实现两个效果:(i)减少颗粒在孔口窗口上的沉积;以及(ii)空气动力学分类,以使得大颗粒优先保留在太阳能接收器/反应器中,比小颗粒保留时间长得多,从而实现对具有宽尺寸分布的颗粒的有效处理。

[0151] 根据本发明的太阳能接收器的各种实施方案可以被配置成根据以下设计标准来实现上述两个效果:

[0152] 1) 太阳能接收器可以竖直或水平定向。在这两种情况下,与先前的SVR配置相比,SEVR针对粒度,改进了对停留时间的控制。对于竖直方向的情况,该控制被增强。

[0153] 2) 需要锥形入口基座,以提供一种方法,用来改变圆锥与圆柱交汇处的角部处较大颗粒相对于较小颗粒的轨迹。此外,锥体还将任何再循环的颗粒像漏斗那样回流到涡流

的最强烈的部分,而不是让它们沉积到腔室壁上。

[0154] 3) 需要至少有一个径向取向的出口,并将其定位在腔体的角落(孔口的平面下方)以相对于较小的颗粒,阻止较大的颗粒离开装置,因此,可进一步使大颗粒比小颗粒更长时间地保留在反应器中。

[0155] 4) 需要至少有一个切向入口,以在腔体内产生涡流。

[0156] 5) 接收器/反应器的入口需要位于腔室的与孔口相对的一端。再加上一个圆锥形膨胀,这将产生一个涡旋,其强度在孔口的平面上弱得多,从而减少了颗粒沿着涡流核心穿过孔口的轴向输送。此外,圆锥形基座的存在以及在腔室的相对端处的接收器/反应器的入口会产生中心再循环区域,该中心再循环区域将颗粒驱离孔口而不是朝向其,从而降低了颗粒渗透入SC腔体的倾向。最后,利用这种布置,接收器/反应器下部的涡流结构接近强制涡流的涡流结构,而在接收器/反应器的上部,涡流结构接近组合涡流(自由和强制)的涡流结构。

[0157] 6) 孔口的直径要求小于孔口的平面上的涡流核心的直径,以防止颗粒通过孔口的输送。锥体的角度会影响孔口平面上的涡流的直径和强度。对于固定的锥角,孔口直径与反应器直径比 d_{ap}/D_c 的值在大约0.125至0.25的范围内,以减少颗粒沉积。

[0158] 7) 为了达到上述两种效果(再循环较大颗粒和减少沉积),同时降低颗粒沉积在膨胀壁上的倾向,需要在 40° 到 65° 范围内的锥角值。锥角的最佳值约为 45° 。

[0159] 应理解,本发明的范围不限于作为实例描述的实施方案的范围。

[0160] 尽管已经根据优选实施方案描述了本发明,以便于更好地理解本发明,但是应理解,可以在不脱离本发明的原理的情况下进行各种修改。因此,本发明应被理解为在其范围内包括所有这样的修改。

[0161] 本公开旨在解释如何根据本技术来形成和使用各种实施方案,而不是限制其真实的、预期的和合理的范围和精神。前面的描述并不是穷尽性的,也不限于所公开的准确形式。鉴于上述教导,可进行修改或变化。实施方案被选择和描述来提供对所描述技术的原理及其实际应用的最佳说明,并且使得本领域的普通技术人员能够在各种实施方案中利用该技术,并且设想到适合于特定用途的各种修改。

[0162] 在附图中描绘的实施方案的上下文中,引用了“上”、“下”,“顶部”、“底部”,“前”、“后”和“侧面”等位置描述,且所述位置描述不应被认为是将本发明限制为对该术语的字面解释,而是如本领域技术人员所理解的那样。

[0163] 另外,在本发明的上下文中使用术语“系统”、“设备”和“装置”的情况下,它们应被理解为包括对任何功能相关或相互作用、相互关联、相互依赖或关联的组件或元件的任何组的引用,它们可以被定位成彼此接近、分离、整合或独立。

[0164] 在整个本说明书中,除非上下文另有要求,否则词语“包括(comprise)”或诸如“包括(comprises/comprising)”等变化形式将被理解为暗示包括所述整体或整体组,而不排除任何其他整体或整体组。

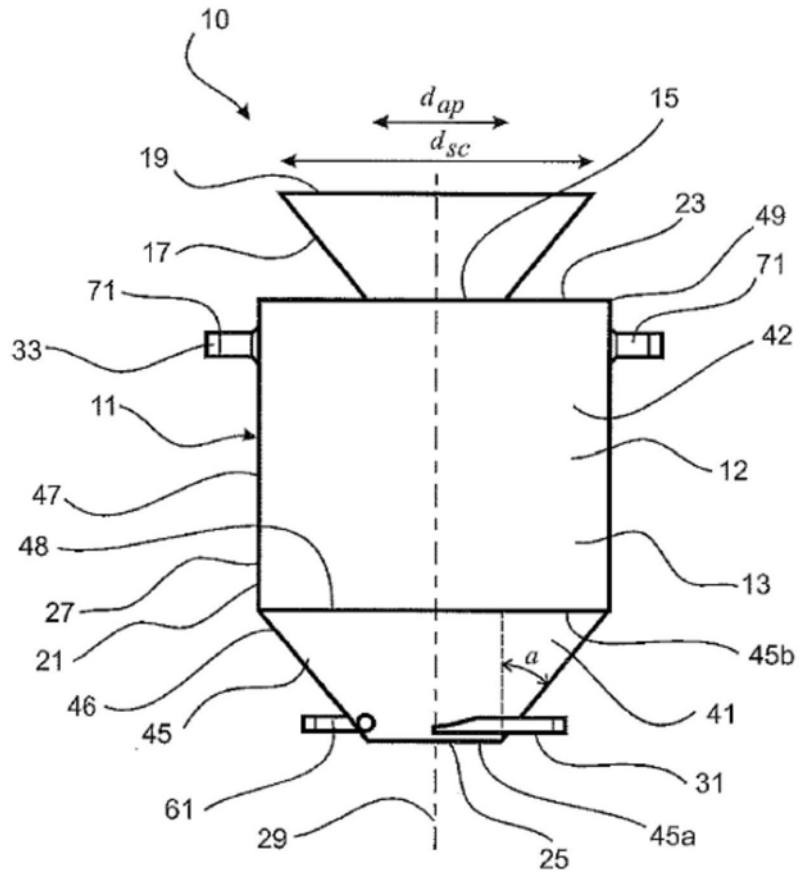


图1

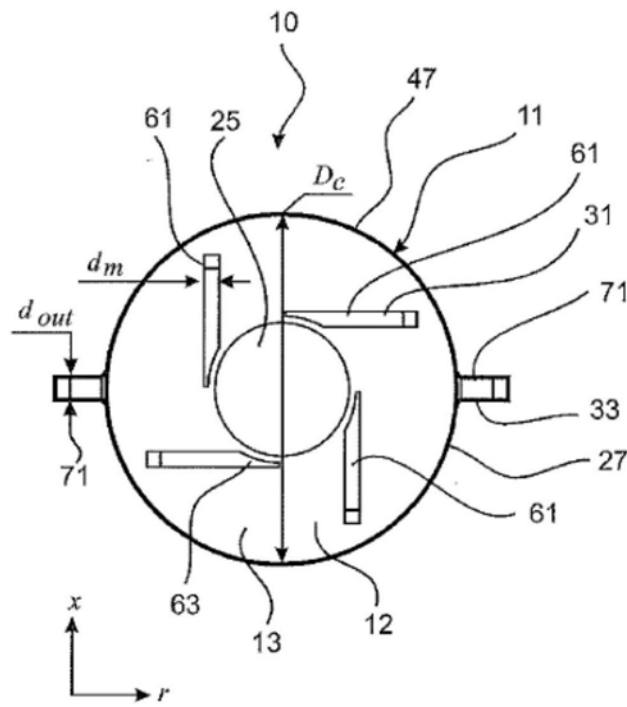


图2

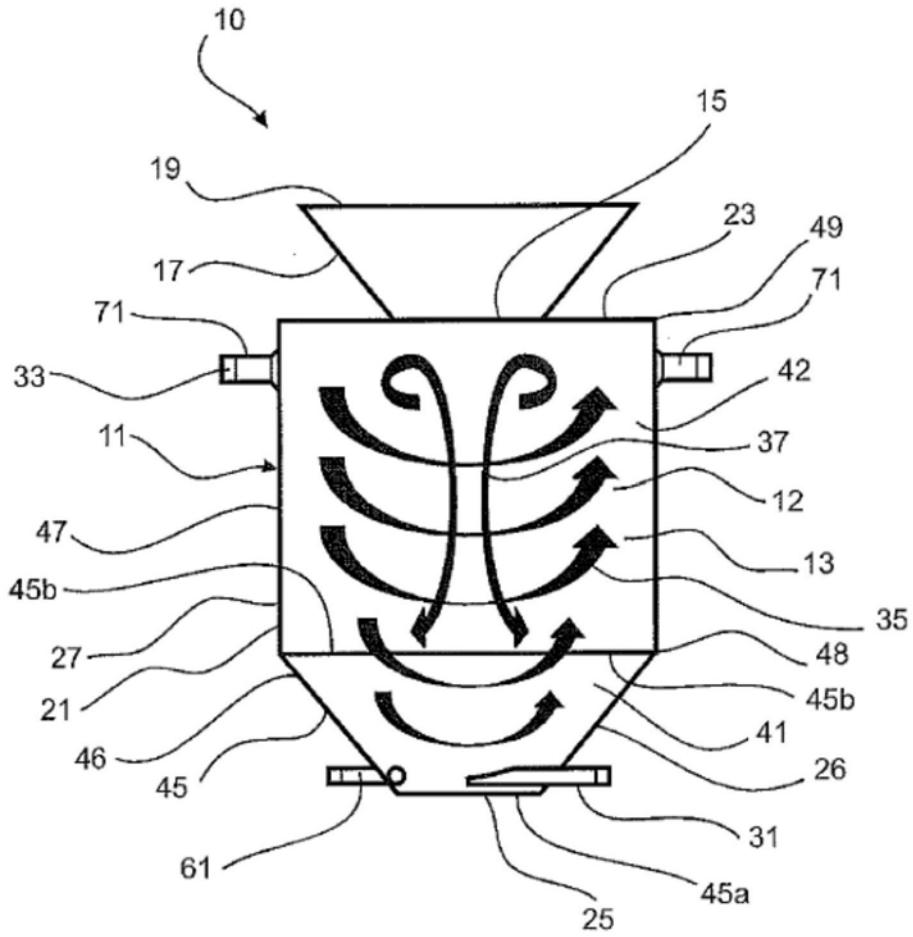


图3

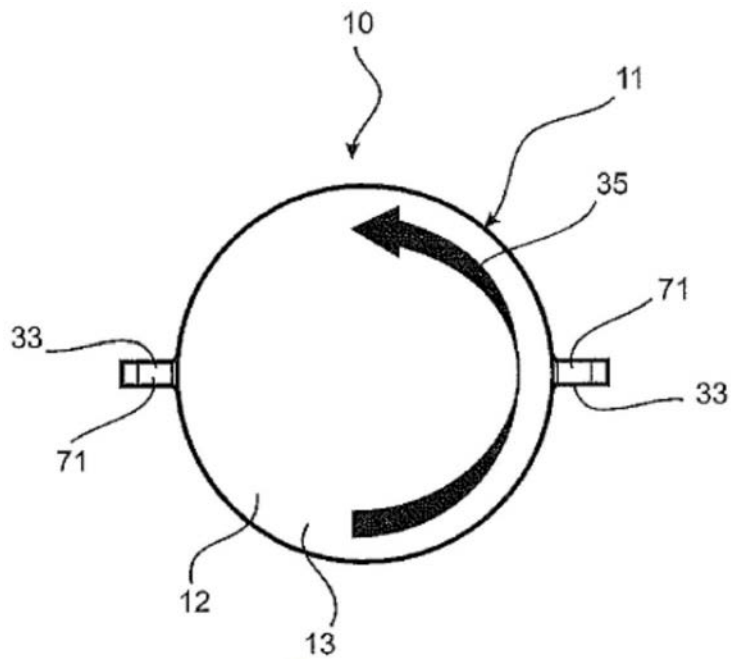


图4

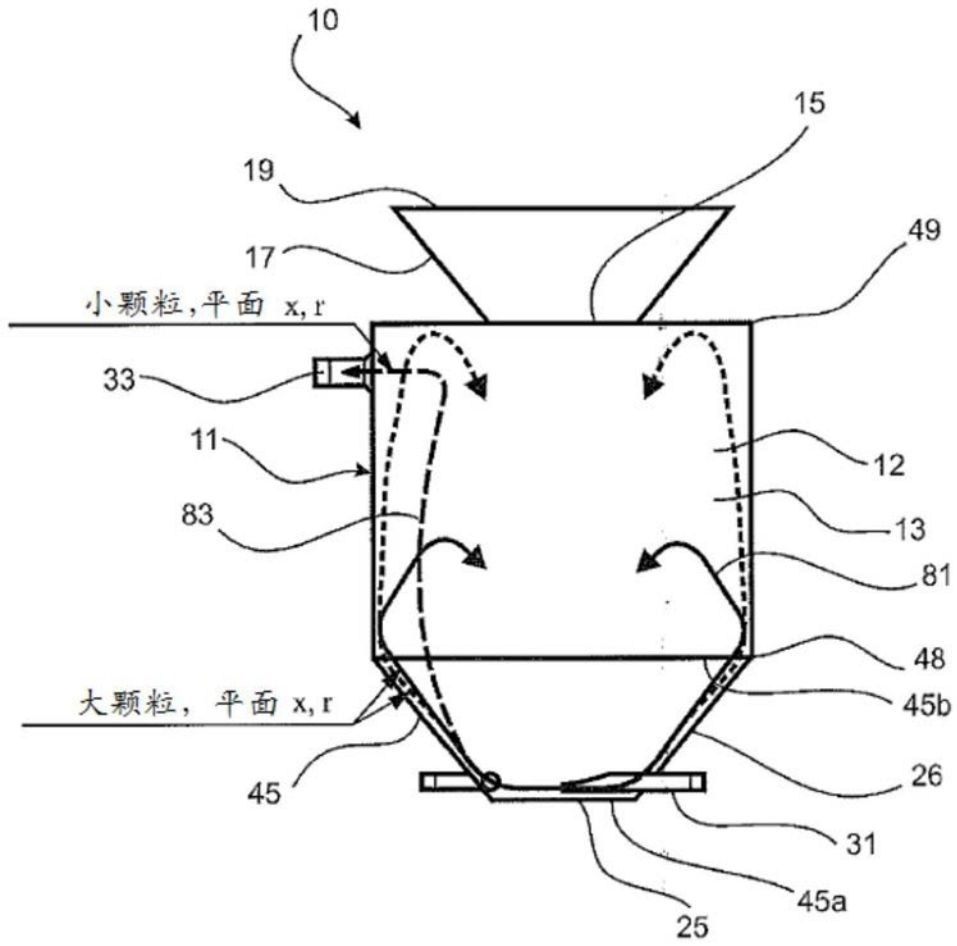


图5

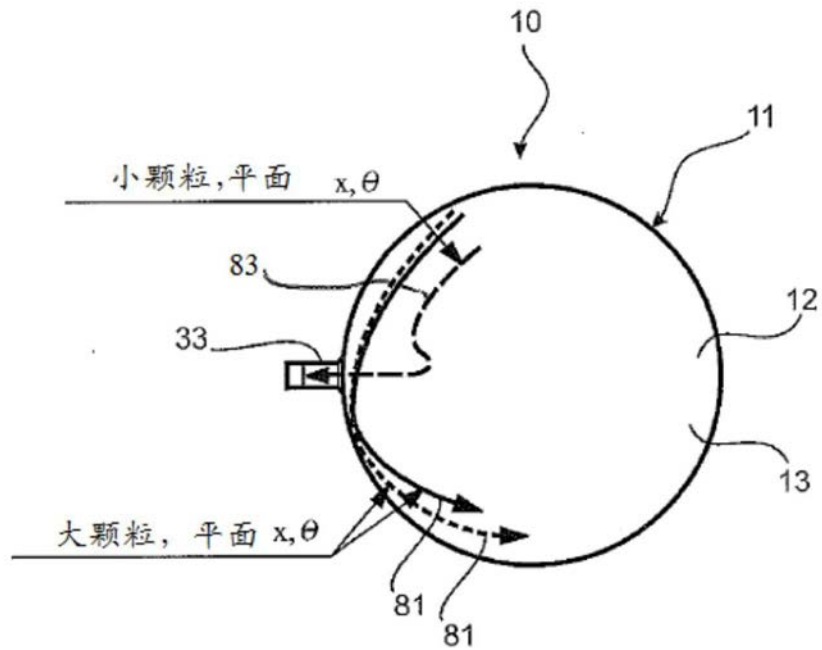


图6

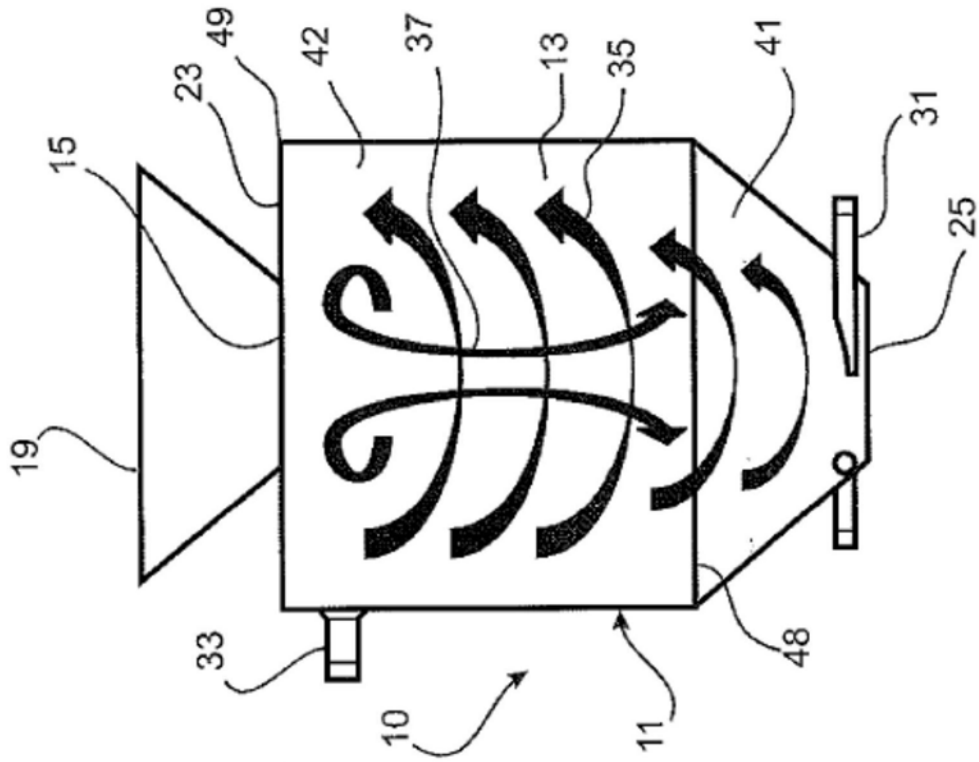


图7a

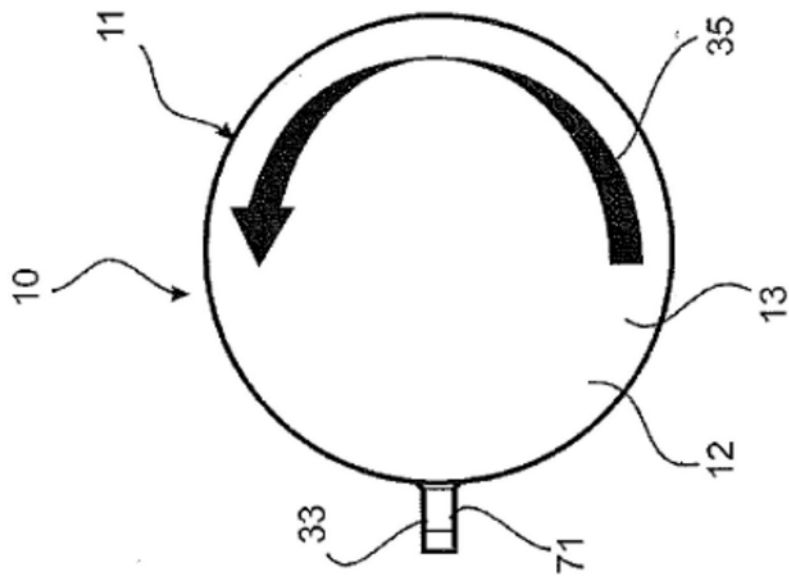


图7b

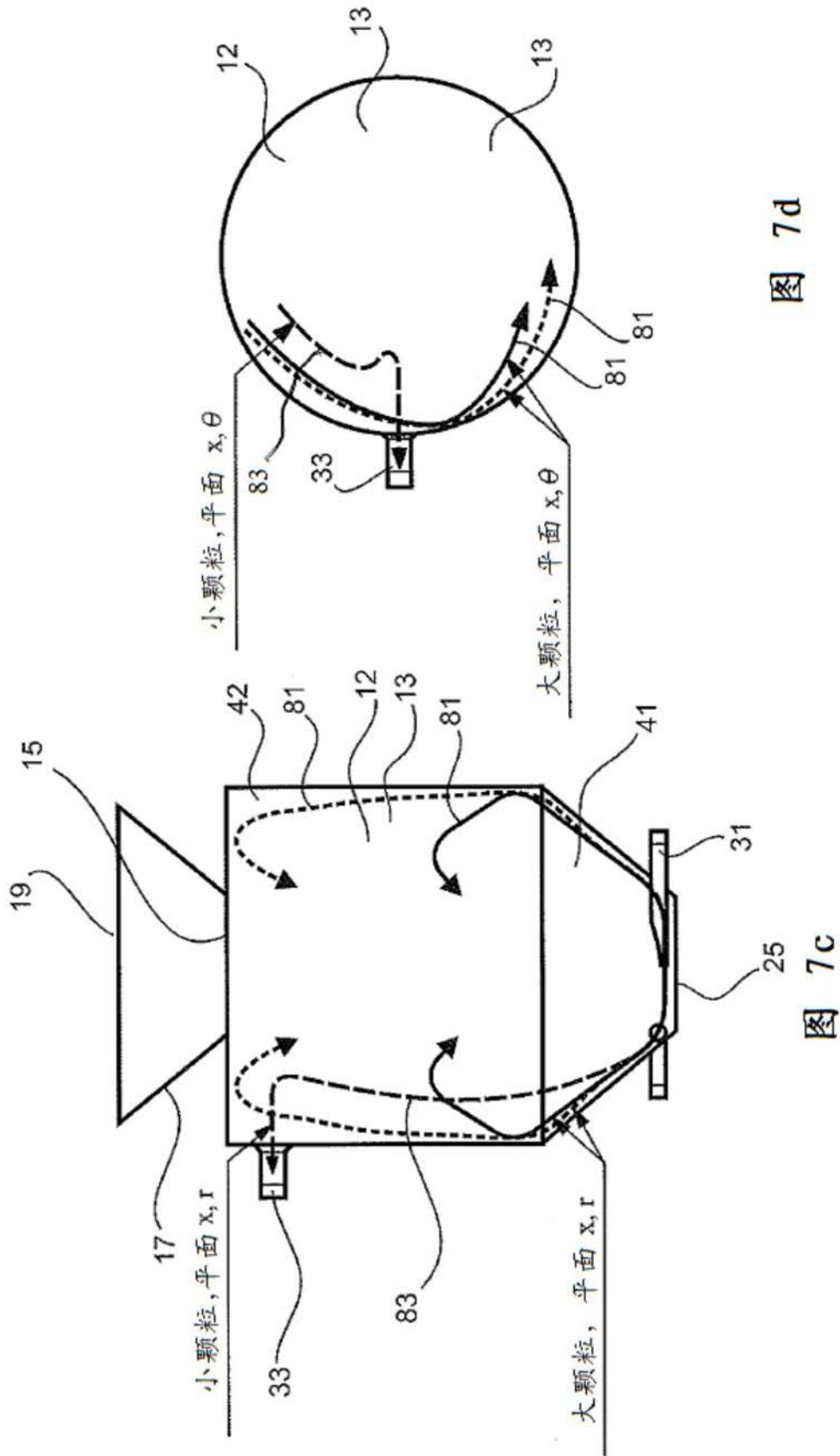


图 7d

图 7c

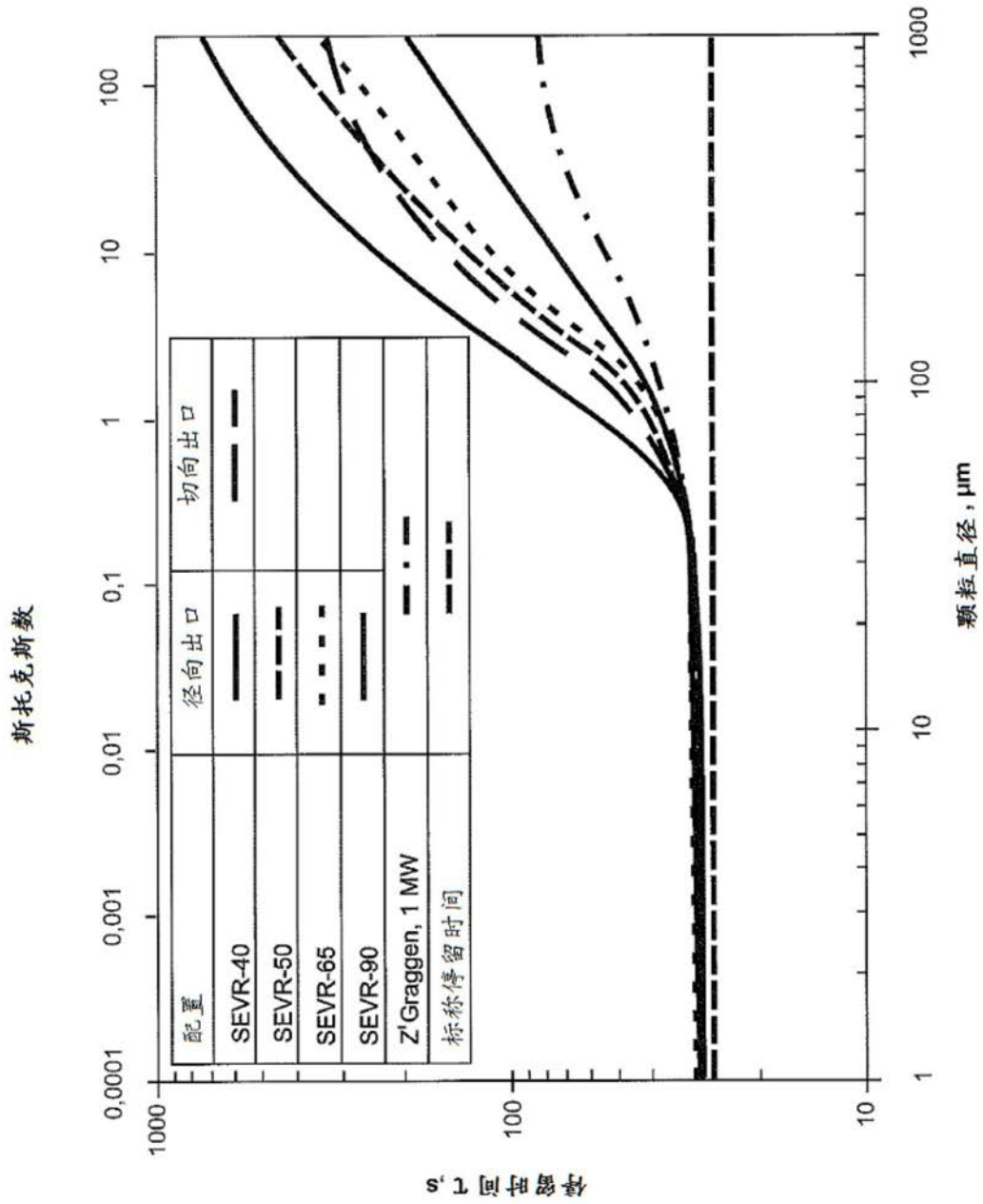


图8

配置#	锥角 α (°)	孔口 d_{ap} (mm)	D/d_{ap}	反应器 长度 L (mm)	S_{ap}
SEVR-65	65	400	3	1500	0.1
SEVR-50	50	400	3	1500	0.32
SEVR-40	40	400	3	1500	0.45
SEVR-30	30	400	3	1500	0.8
SEVR-15	15	400	3	1500	0.92
SEVR-D1	40	400	1	1500	0.99
SEVR-D4	40	400	4	1500	0.5
SEVR-D5	40	400	5	1500	0.52
SEVR-L800	40	400	3	800	1.08
SEVR-L2500	40	400	3	2500	0.5
SEVR-A600	40	600	3	1500	0.68
SEVR-A200	40	200	3	1500	0.08
SEVR-A150	40	150	3	1500	0.04

表1: 调查的SEVR配置的几何细节和对应的孔口平面处计算出的流量旋流数, S_{ap} .

图9

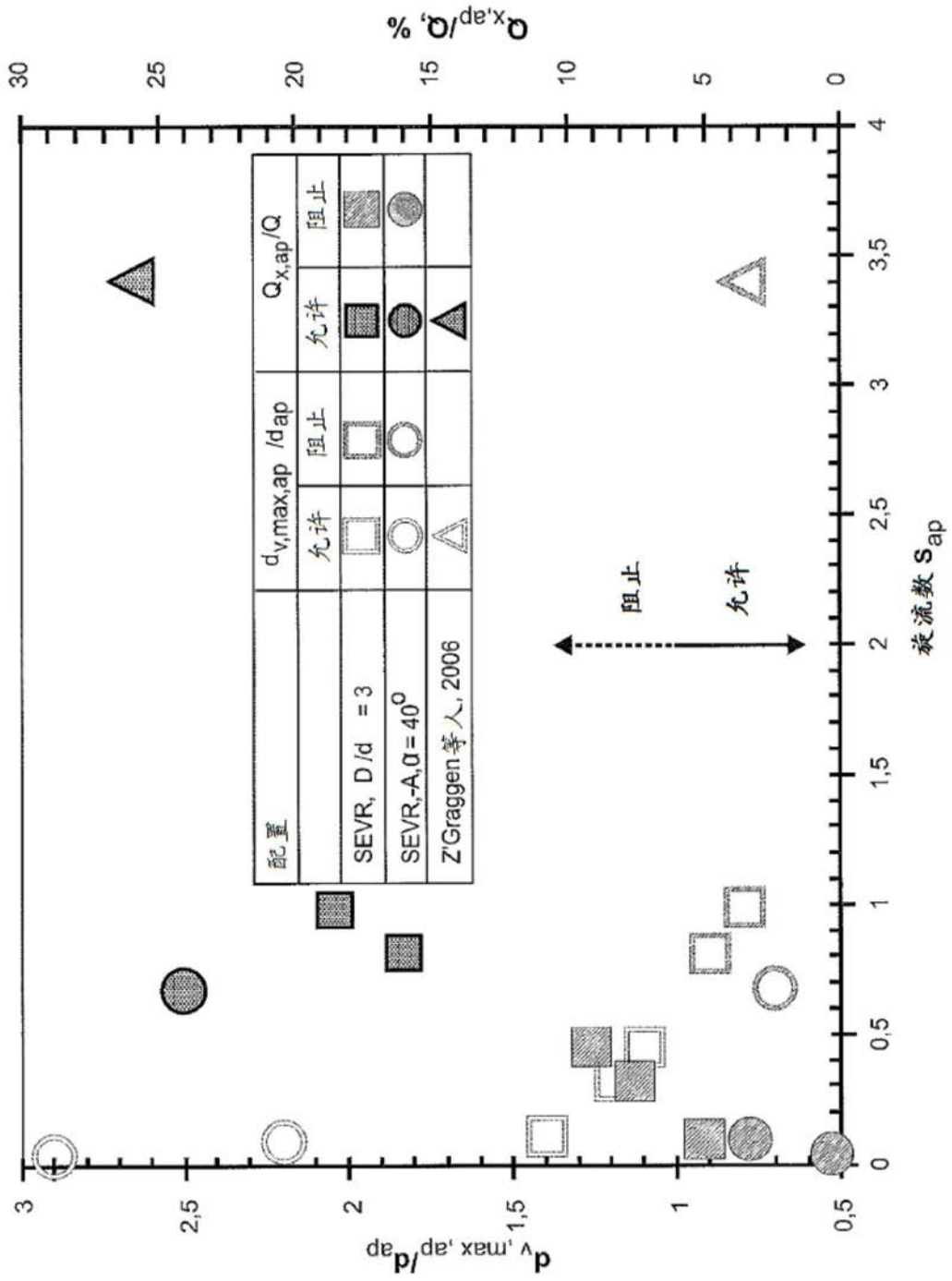


图10

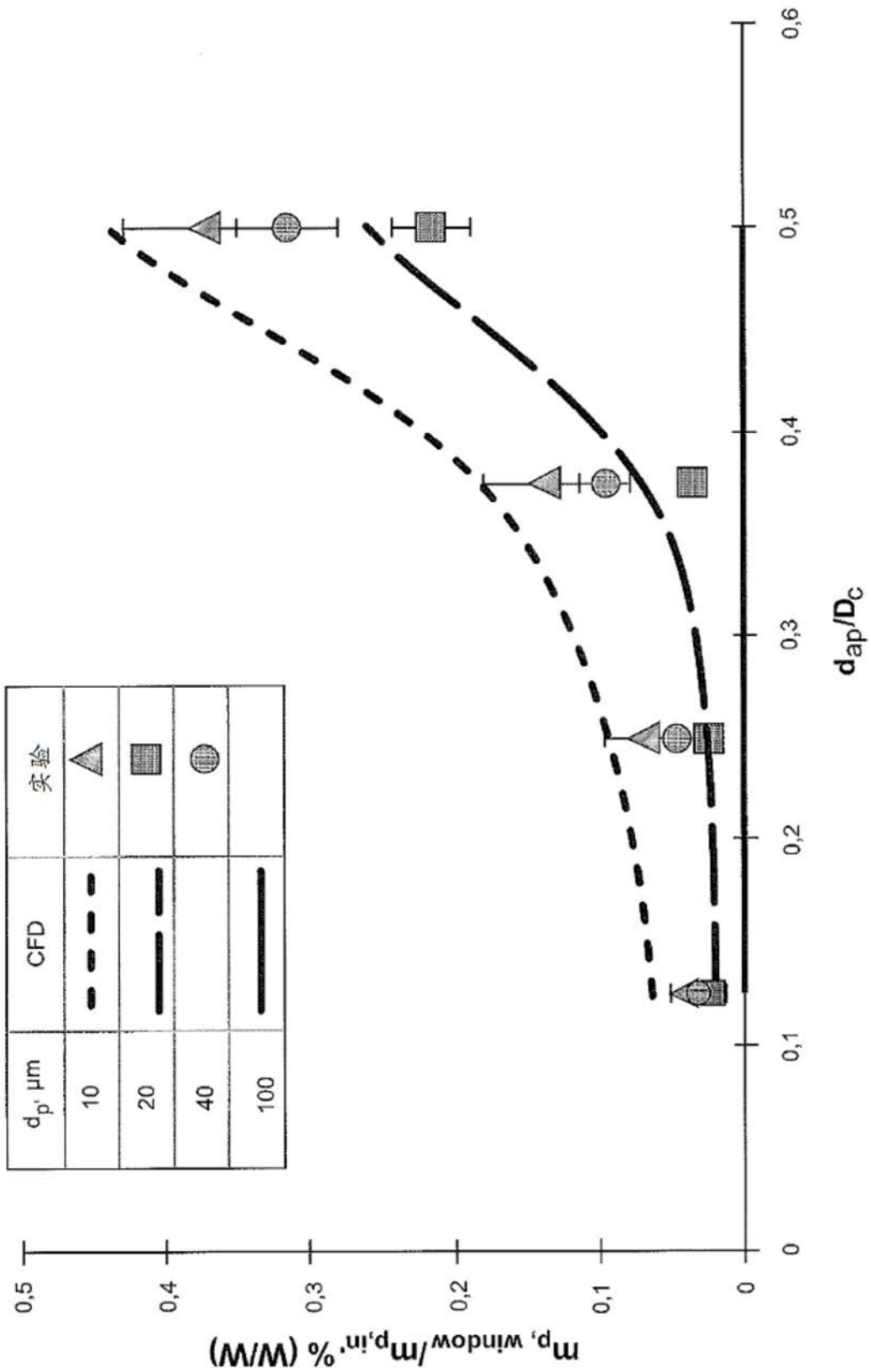


图11

	值
L, mm	500
D_C , mm	400
α , °	50
l_{in} , mm	17
l_{out} , mm	50
d_{ap} , mm	50-100-150-200
d_{in} , mm	12.5
d_{out} , mm	21
d_{sc} , mm	200
l_{sc} , mm	125

表2: 通过实验调查的SEVR配置的几何细节

图12

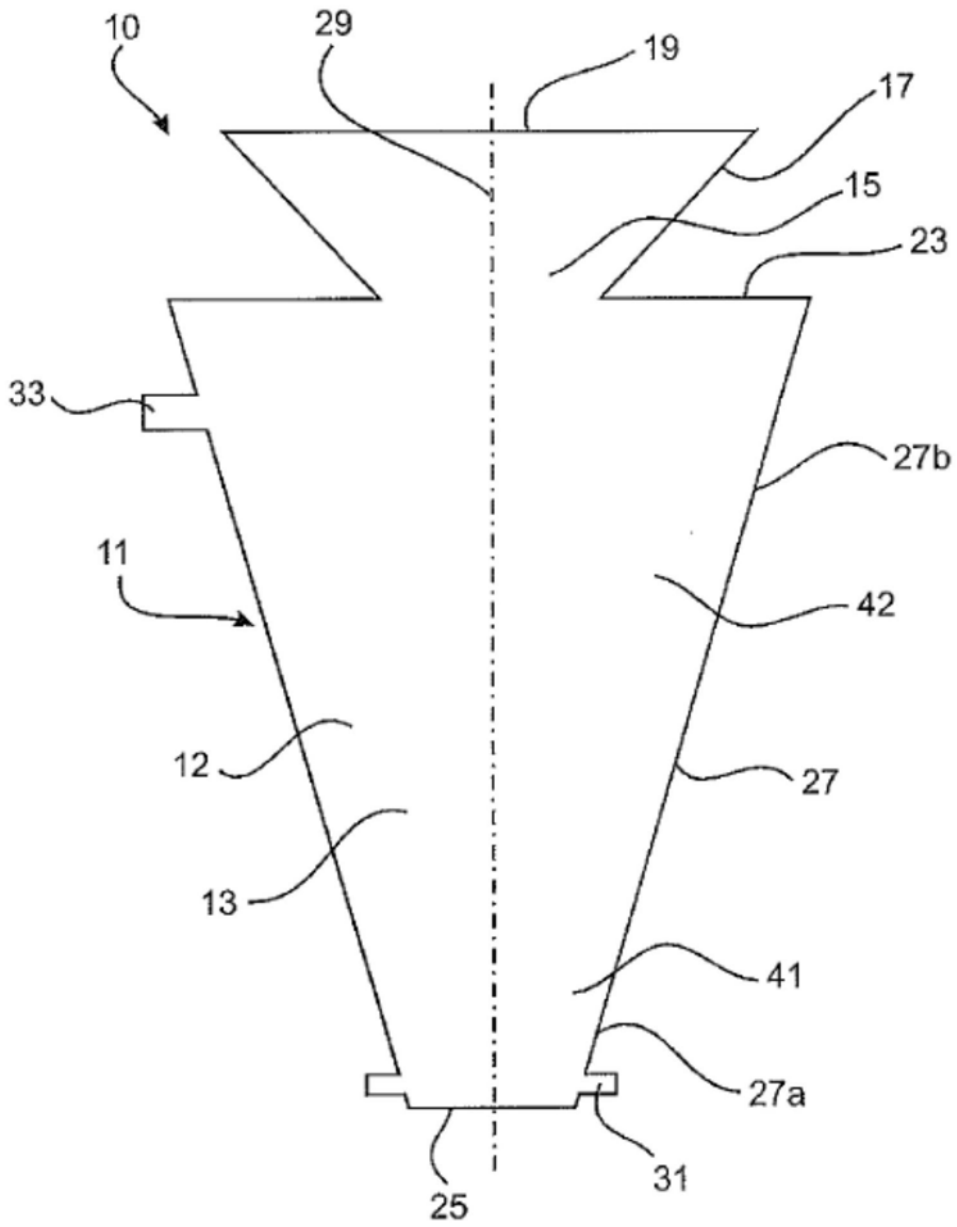


图13