



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107875949 A

(43)申请公布日 2018.04.06

(21)申请号 201711103583.0 *B01F 11/00*(2006.01)
(22)申请日 2011.04.06 *B01J 19/00*(2006.01)
(30)优先权数据 *B01J 19/18*(2006.01)
1005742.0 2010.04.06 GB *B01J 19/28*(2006.01)
B01J 8/04(2006.01)
(62)分案原申请数据
201180025115.0 2011.04.06
(71)申请人 阿什莫里斯有限公司
地址 英国柴郡
(72)发明人 R·阿什 D·莫里斯
(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专
利商标事务所 11038
代理人 柳爱国
(51)Int.Cl.
B01F 13/10(2006.01)
B01F 13/00(2006.01)

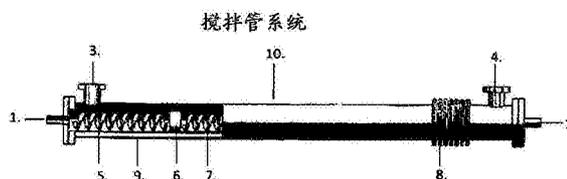
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

改进的管式反应器和工艺

(57)摘要

本申请公开了一种用于混合在通道(9)中连续流动的流体流的工艺,所述通道的长度和直径的比大于5并包含松的一个或多个搅拌单元,所述搅拌单元包括中空圆柱、弹簧和中空篮筐(5、14)并具有不同于所述通道中的其它材料的密度,所述通道具有用于材料的一个或多个入口(1)和用于材料的一个或多个出口(2),使穿过所述通道的材料经受有序流动,通过摇振所述通道产生所述一个或多个搅拌单元的运动,由此混合的方向大致横向于材料流动通过所述通道的方向。本申请还公开了一种用于混合连续有序流动流的装置。



1. 一种用于混合在通道(9)中连续流动的流体流的工艺,所述通道的长度和直径的比大于5并包含松的一个或多个搅拌单元,所述搅拌单元包括中空圆柱、弹簧和中空篮筐(5、14)并具有不同于所述通道中的其它材料的密度,所述通道具有用于材料的一个或多个入口(1)和用于材料的一个或多个出口(2),使穿过所述通道的材料经受有序流动,通过摇振所述通道产生所述一个或多个搅拌单元(5、14)的运动,由此混合的方向大致横向于材料流动通过所述通道的方向。

2. 根据权利要求1所述的工艺,其中,所述一个或多个搅拌单元(5、14)运动的方向被限制到径向平面。

3. 根据权利要求1或2所述的工艺,其中,所述通道(9)包括安装在摇振平台(12)上的一个或多个管(11),通过摇振所述管产生混合。

4. 根据前述权利要求的任一项所述的工艺,其中,使用在1循环/秒到100循环/秒之间的搅拌摇振速度。

5. 根据前述权利要求中的任一项所述的工艺,其中,所述通道的直径为10mm至100mm。

6. 根据前述权利要求中的任一项所述的工艺,其中,所述搅拌单元在径向方向上的平均速度是通过所述通道前进的处理材料的轴向速度的5倍。

7. 一种用于混合连续有序流动流的装置,其包括摇振机构和包含一个或多个搅拌单元(5、14)的通道(9),所述搅拌单元具有不同于所述通道中的其它材料的密度,所述通道具有用于材料的一个或多个入口(1)和用于材料的一个或多个出口(2);所述摇振机构用于摇振所述通道并且产生所述一个或多个搅拌单元(5、14)的运动,由此混合的方向由于所述一个或多个搅拌单元的运动而主要在径向平面中且大致横向于材料流动通过所述通道的方向,其中,所述通道的长度和直径的比大于5,所述一个或多个搅拌单元包括中空圆柱、弹簧和中空篮筐。

8. 根据权利要求7所述的装置,其中,所述装置使用搅拌物环(15)。

9. 根据权利要求7或8所述的装置,其中,所述一个或多个搅拌单元(5、14)运动的方向被限制到径向平面。

10. 根据权利要求7-9中的任一项所述的装置,其中所述通道(9)包括安装在摇振平台(12)上的一个或多个管(11),通过摇振所述管产生混合。

改进的管式反应器和工艺

[0001] 本分案申请是基于申请号为201180025115.0(其国际申请号为PCT/EP2011/001702)、申请日为2011年4月6日、发明名称为“改进的管式反应器和工艺”的中国专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及用于在动态混合条件下通过液体、浆体、气体/液体混合物、超临界流体、气体、非混流体(或这些材料的混合物)在通道中连续运动或流动而进行输送的流动系统。应用的例子包括(但不限于)作为化学反应器、提取器、混合器、结晶器、生物反应器、加热器和冷却器的连续流动系统。例子也包括需要有序流动并且需要防止相分离、增稠或固化的流体输送系统。本发明特别地涉及包括有序流动并且在大致横向于流动方向的方向上进行混合的连续流动系统。

背景技术

[0003] 理想柱塞流(plug flow)指的是流动流体的速度在通道面上是均匀的并且不发生逆混的流动条件。然而应当认识到理想柱塞流既对于较大管是不理想的(在较大通道中的一些横向运动是进行混合所必需的),也是不可能的(例如,壁摩擦影响速度剖面)。在本文中,柱塞流指的是接近理想柱塞流的条件。在本文中,柱塞流表示有序流动使得流体元以它们进入通道的大致相同的顺序穿过并且离开通道。这也适用于这样的系统,其中两个相沿两相反方向行进(逆流流动)但是每个相在它的相应方向上近似地遵守柱塞流的规则(除了可以在相之间输送的组分之外)。所以本发明最小化通道内的材料的逆混程度,此外径向混合可以减小滞留区或表面曳力的影响并且在这样做能够改善柱塞流的质量。

[0004] 本发明涉及通道中的流动。术语“轴向”指的是通道的长轴。通过通道的流体的净方向是轴向的。术语“径向”指的是与轴向轴线大致成90°的平面。

[0005] 本文中的术语“静态混合”指的是在不移动混合器单元的情况下改变通道内的流体的流动方向的系统。例子包括紊流、通道弯曲部、挡板和静态混合器。本发明涉及流动通道中的动态混合。多数常规动态混合器包括旋转式搅拌物的使用。通过摇振通道实现本发明的混合方法。通道包含搅拌物以增强混合并且在该情况下优选的搅拌物运动被限制到径向平面。

[0006] 在本专利中使用的术语“通道”描述处理材料流动通过的通道。它可以是管或管道。提到诸如通道直径与长度的比率,则假设通道是圆形的。在通道为非圆形的情况下,可以使用本文中所述的原理和尺寸确定标准通过合理判断来应用这些或其它参数的估计。

[0007] 在本专利的上下文中通道指的是通过摇振进行混合的管或管道。一系列通道可以串联使用,在该情况下每个通道可以通过连接管道与另一个通道分离。任何连接管道的直径优选地小于通道,从而在连接管道内的动态混合不存在的情况下保持有序流动。一系列通道也可以并联使用。

[0008] 本发明的系统被称为搅拌管系统(ATS)或搅拌管式反应器(ATR)。

[0009] PCT公告W0 2008/068019描述了一种搅拌槽反应器。它包括两个或更多的连续搅拌槽(CSTs),由此通过摇振槽实现混合。假设两种不同密度的材料存在于槽内,摇振的效果将是产生混合。搅拌槽反应器内的各个级内的流体运动不遵循栓塞流型态。然而当多级串联使用时,获得栓塞流特性。这种设计的限制与比例扩大相关。在搅拌槽反应器中,混合槽内的流体组分必须大致均匀以防止旁通或阻塞。为此,槽的长度应当类似于直径。当级的容量增加时这导致大直径的级。大直径的级比小直径的通道效率低,原因是它们需要更大的摇振器行程(这限制摇振频率)。大直径的通道也增加系统的重量和高度,这影响稳定性并且需要更大的摇振器功率。

[0010] 本发明涉及一种使用摇振混合技术的管式系统。不同于W02008/068019,这是一种不需要用于栓塞流的多个级的管式系统(尽管由于紧凑性的原因可以使用级分离)。在这种设计中,通道长度(不是多个离散级)形成用于保持通过通道的产品的栓塞流的基础。在本设计中通向通道的入口和出口在轴向路径上分离最远实际距离。本发明的搅拌管系统具有以下优点。

[0011] • ATS中的混合的优选方向在径向平面中,而搅拌槽反应器中的混合的方向优选地是随机的。这意味着ATS内的单级内的流型大致上是栓塞流。这导致通过单个通道的栓塞流。

[0012] • 入口管道相对于出口管道的位置在理想搅拌槽反应器中是不重要的。在ATS中,入口管道和出口管道在轴向平面上分离最大实际距离。

[0013] • 在搅拌槽设计中,排出管道中的材料的组分与槽中的任何点大致相同。在ATS中,排出管道中的材料的组分仅仅与紧邻排出管道的ATS通道内的材料相同。

[0014] 美国专利5628562描述了一种具有管的计量装置,所述管可以被供给两种材料并且可以左右移动以导致混合。金属丝附连到管的内壁并且纵向地延伸通过管以增强混合。尽管未提到尺寸,但是该设计不是栓塞流系统并且如图所示的混合单元特别地旨在促进轴向和径向两个平面中的混合。

[0015] ATS设计允许使用长通道并且它也允许使用具有相对较小直径的通道。对于超过200毫升的容量,相比搅拌槽设计,长、小直径管导致更低的重量、更低的建造成本以及固有地更好的混合特性。也可以使用小于200毫升的ATS系统。也可以使用小于200毫升的ATS系统。根据ATS投入的用途,适宜的是为它提供温度控制护套。这提供调节处理温度并且在需要时增加或去除热的手段。

[0016] ATS的通道中的一个或多个安装在摇振平台上并且通过摇振通道产生混合。与搅拌槽设计相同,超过一种密度的材料必须存在于通道中以用于发生混合。通过参考附图示出该设计。图1显示了ATS通道。产品在入口(1)处流入并且流动通过通道(9)到达出口(2)。加热或冷却流体(需要时)经由入口连接部(3)和出口连接部(4)泵送通过加热/冷却护套(10)。可以使用各种冷却/加热护套设计。与其它流体组分密度不同的自由运动搅拌物单元位于通道内。在该例子中,显示了弹簧状混合器(5)。图1显示了一系列分离的混合器(5和7)。备选地,不同类型的混合器可以用于单个通道中。可以使用混合环(6),如图1中所示。显示了可选的用于加热/冷却护套的膨胀波纹管(8)。这些适应壳体和护套之间的不同膨胀。一个通道或多个通道安装在运动平台(未在图1中显示)上。通道也可以连接到其它通道以增加容量,如图2中所示。图2显示了安装在搅拌平台(12)上的多个通道(11),例如图1中所

示的通道,所述搅拌平台在横向于通道的长轴的方向上来回移动组件。运动方向也可以是在横向于通道的长轴的方向上的轨道运动或某个其它型式。未显示平台搅拌机构的细节。处理通道在不同点处可以具有例如用于器械、采样或添加的各种连接部。

[0017] 图3显示了反应通道(13)内的弹簧状搅拌物(14)。可选的搅拌物环(15)设在搅拌物的每个端部处。搅拌物环(15)防止相邻搅拌物的端部碰损或缠绕。当接触通道的侧面时它们也可以提供用于搅拌物单元的软接触表面。这可以减小磨损和产品损坏。搅拌物环可以具有孔或切口以改善沿着通道的流动。搅拌物环可以由诸如塑料的软材料或诸如金属的硬材料制造。它可以使用橡胶或塑料层以缓冲撞击并且产生弹回。搅拌物环也可以用于减小逆混或俘获流体中的一个相。

[0018] 优选的是,搅拌物的组合效果是扫掠通道直径的50%或更多。为此,可以使用包含超过一个直径的混合单元的搅拌物,如图4中所示。这使用4个外混合杆(16)和一个内杆(17)。备选地,簧内簧或同心环可以用作混合器。图5显示了处理通道(21)内的静态搅拌物导向器。搅拌物(18)具有中空中心部以允许自由运动。搅拌物导向器(19)防止相邻搅拌物接触。搅拌物导向器间隔件(20)是连接搅拌物导向器的杆。为了允许搅拌物的自由运动,优选的是,搅拌物导向器间隔件的长轴在通道直径的中间1/3内。它可以位于周边处,但是这将减小热传递能力或者会阻碍搅拌物的运动。搅拌物导向器和搅拌物导向器间隔件可以被设计成通过从管的一个端部滑入而插入。搅拌物导向器可以是实心盘,其在中心处具有孔或在周边具有切口以允许处理材料沿着通道通过。它们也可以是蜘蛛状导向器。当这是不同密度的流体或气体时,搅拌物导向器也可以用于控制混合单元的轴向运动。在这些情况下,优选的是,搅拌物导向器在外周边处提供实心环以用作围栏,从而保持气体或更致密的材料。在这些情况下,处理材料通过不在周边处的孔穿越导向器。

[0019] 在一个实施例中本发明提供一种动态混合栓塞流系统,其中松搅拌物是为了混合目的设计的固体机械部件。

[0020] 本发明还提供一种动态混合栓塞流系统,其中搅拌物是与系统内的另外的流体密度不同的材料(例如气体)。一种密度的流体的轴向流动可以借助于搅拌物导向器和/或通道端部处的脱离点的取向(例如防止气体逸出的低水平脱离)被禁止。

[0021] 本发明还提供一种动态混合系统,其中搅拌物是与系统内的另一处理流体密度不同的流体(例如气体),该流体可以随着处理流体移动,与处理流体反应或不反应,或溶解于或不溶解于处理流体。

[0022] 在另一个实施例中系统利用温度控制,但是也可以使用不具有温度控制的系统。在利用温度控制的情况下,可以使用外套筒或盘管形式的外部冷却/加热护套。备选地,它可以是电加热器。温度控制可以借助于监测处理流体的温度的温度传感器实现。来自温度传感器的信号可以用于改变加热或冷却介质的流率或温度(其中所述介质是热交换流体),或者在电加热器的情况下改变电功率。随着管的不同点可以采用不同的温度控制策略。

[0023] 由于ATS使用主要在径向平面中的动态混合,因此混合效率不取决于通过通道的流体的线速度,并且相比于不使用径向平面中的动态混合的系统,栓塞流更少地取决于通过通道的流体的线速度。这意味着需要时可以在反应器的不同级(具有大致相同的混合和栓塞流特性)使用不同直径的通道以适合变化要求,例如热传递要求。

[0024] 可以利用摇振的任何方向,然而,摇振的优选方向在径向平面中并且搅拌物运动

可以是在径向平面中的旋转轨迹、横向轨迹或各种轨迹。当在轴向平面中存在搅拌物运动的情况下,优选的是,这被限制到小于通道长度的10%。

[0025] 摇振的频率与所需的混合水平相联系。然而作为最小值,在径向方向上的搅拌物的平均速度应当大于穿过通道的处理材料的轴向速度并且优选地是轴向速度的5倍大并且更加优选地是轴向速度的10倍大。搅拌物的平均速度也可以最多是处理流的轴向速度的50倍大或更高(高混合速度对于质量传递限制处理特别重要)。对于需要开始快速或高效混合的处理,可以使用每秒1到10个循环(或更高)的摇振速度,但是可以使用最多每秒100循环的混合次数。

[0026] 通道的直径可以小于1mm或大于1m。然而小直径通道的约束在于它们使用较小的搅拌物,这导致单位质量的表面曳力增加。这导致混合效率减小(尤其对于粘性更大的流体)。尽管可以使用具有直径大于100mm的通道系统,但是这些承受增加的成本并且更难以通过摇振混合。所以优选通道直径为10mm至100mm并且更优选地为25mm至80mm。

[0027] 增加反应器通道的长度使体积容量增加。对于可以使用的长度没有限制。然而,出于实际的原因,2米或更小的通道长度是优选的,原因是它们必须安装在摇振平台上(其中刚性对于摇振能量的良好传输是需要的)。在较长通道是必须的情况下,优选的是,将通道分割成长度为2米或以下并且更优选地长度为1米或以下的一系列更短通道。在使用多个通道的情况下,这些优选地由具有减小直径的通道联结(以保证良好栓塞流和混合通道之间的最小传递延迟)。我们已发现根据本发明的系统的使用能够使用比以前的管式连续流动系统明显更短以及更大直径的通道。

[0028] 单个通道的优选容量在10毫升至10升之间。更优选地,容量在100毫升至1升之间。

[0029] 为了保持栓塞流,通道的长度优选地是通道直径的至少两倍。更优选地,通道长度是通道直径的至少5倍并且更加优选地是通道直径的至少10倍。

[0030] 搅拌动作可以应用于整个系统或各个通道。搅拌动作也可以独立地应用于通道组或对置工作的若干组。可以使用任何合适的搅拌方法。通道可以安装在滑动框架上或备选地安装在衬套、轴承或弹簧上以允许运动。通道组件可以由各种手段摇振,例如由电动机、液压力、电磁体或压缩气体摇振。

[0031] 处理通道优选地是刚性的,使得摇振能量可以高效地传输到通道内容物。通道材料的例子包括(但不限于)金属、玻璃、塑料内衬金属、陶瓷、玻璃内衬金属或塑料。通道可以竖直地、水平地或倾斜地安装。通道的取向将取决于处理要求的性质。

[0032] 可以使用各种形状和构造材料的搅拌物。例子包括(但不限于)实心圆柱、中空圆柱、弹簧、中空篮筐(用于容纳催化剂或其它固体)和球体。在单个反应器通道内可以有一个搅拌物或许多搅拌物。在使用固体搅拌物的情况下,通常优选地利用圆形的轮廓以促进通道中的滚动运动。搅拌物的长度可以与通道长度相同。然而优选的是使用长度小于300mm的搅拌物。这减小不平衡搅拌运动(其中搅拌物的长轴偏离通道的长轴)的问题。不平衡搅拌物运动促进非期望的轴向混合。搅拌物也可以系着到通道以部分地限制它们的运动。搅拌物单元可以带有端帽以引导并且控制它们在通道内的运动。

[0033] 优选的是,通道被设计成不具有内部阻碍,使得混合单元(搅拌物)和间隔器可以在通道的一个或两个端部插入以及去除。这简化了清洁和组装。

[0034] 优选的是,通道具有可去除端帽使得可以接近管和内部单元以进行检查、清洁或

维修。

[0035] 处理流体借助于流体输送泵输送到通道。处理流体也可以通过重力输送或具有加压顶部空间的供应容器输送到通道。在处理流体是气体的情况下,这可以从加压容器输送到通道。

[0036] 本发明的ATS也可以用于逆流处理,例如提取,或逆流反应。在逆流流动中,期望的是(并且通常必须)具有未混合区域以允许轻相和重相的分离。轻相和重相在通道的相对端部处加入并且也在相对端部处提取到它们各自的入口点。

[0037] 图6示出了这样的逆流系统。

[0038] 图6显示了安装在用于通过摇振进行混合的搅拌物平台(未显示)上的管(22)。管带有用于轻相材料的第一入口(23)、用于重相材料的第二入口(24)。出口管道(25)和(26)分别用于轻相和重相。搅拌物单元(27)沿着可选地带有搅拌物导向器(28)的管设置以提供分离区域(29),从而有助于重相和轻相在它们混合之后的分离和逆流提取。在用于轻相和重相的相应入口点处需要没有混合的分离区域。在一些情况下如图或未如图所示可以使用附加的分离区域。

[0039] ATS设计可以在低(或快)速度下输送高效径向混合。这样的优点是灵活并且相比于静态混合装置可以在短得多的通道中(对于指定体积)实现良好的柱塞流和良好的混合。该设计的优点包括:

[0040] 1. 相比于静态混合装置对于指定轴向速度,混合明显改善。

[0041] 2. 相比于静态混合系统,以短通道实现高体积容量并且因此建造成本明显更低。例如,1mm直径的静态混合通道中的1升反应器容量将需要1200米以上的管道。在静态混合反应器的情况下,1米的40mm通道将仅仅在高流率下实现快速混合和良好柱塞流,具有很短的停留时间。对于从数秒到数小时的反应时间,具有1米长的通道长度并且具有40mm的通道直径的本发明的1升系统可以输送良好的混合和良好的柱塞流。

[0042] 3. 该设计的大直径的短通道由于低轴向速度和大通道直径而具有低压降。它们也由于良好的混合和大通道直径而具有良好的固体处理特性。

[0043] 4. 该设计的系统固有地能够更简单地扩大,原因是相比于静态混合系统,混合更少地取决于通道长度、通道直径或流体速度。径向混合与轴向混合的高比率保证扩大期间的柱塞流的更大一致性。

[0044] 相比于常规搅拌罐设计中的旋转混合器,本类型的混合的优点是:

[0045] 1. 不需要湿驱动轴或磁耦合器来产生搅拌物的运动。

[0046] 2. 不需要机械密封件。

[0047] 3. 搅拌物单元可以以有效地自阻挡(self baffling)的横向运动移动(与旋转不同)。这是不需要挡板(在搅拌物驱动轴存在的情况下,挡板难以安装在通道中)的高效混合方法。

[0048] 4. 良好的扩大特性。混合和柱塞流基本上不受扩大影响,并且压降随着扩大而减小。

[0049] 流动系统胜过分批系统的优点已广泛报导并且包括改善的安全性、改善的产量、更快的反应速度和更高的品质。ATS设计的商业效益与它是可以处理在其它类型的流动系统中不可能或费用贵得离谱的各种处理的流动系统的事实相关。它也比使用旋转搅拌物的

多级系统在建造上明显更容易和更便宜。

[0050] ATS可以用作(但不限于):

[0051] • 用于均质流体化学反应、浆体化学反应、气体/液体混合物化学反应、非混流体化学反应、固体催化剂化学反应、非固定化固体催化剂化学反应、逆流化学反应或这些的混合的连续化学反应器。它也理想地适用于大于30秒的反应时间。

[0052] • 用于活体或死亡细胞的生物催化、酶处理工艺和活细胞生长的连续生物反应器。

[0053] • 用于包括均质和非均质流体的混合或流体输送的连续流动系统。

[0054] • 用于顺流提取、逆流提取、结晶、溶解气体或固体或超临界处理的连续流动系统。

[0055] 根据本发明的ATS的使用由以下例子示出,该例子包括在搅拌管式反应器(ATR)中执行D型氨基酸的氧化的反应以提供L型氨基酸和 α 酮酸的混合物。结果与具有400rpm的搅拌速度的1升分批容器比较。反应是多相的,包括固体、气体和液体。氧通过包含D型氨基酸、全细胞上的非固化酶和基质丙氨酸的反应混合物冒泡。

[0056] 下面的图7显示了对于在1升ATR和1升分批容器中执行的反应的反应时间(小时)与转化率(%)的关系。在两种反应器中,每单位体积使用相同量的氧。

[0057] 结果显示ATR实现了类似于分批反应器的转化率,但是反应时间为9小时,优于1升分批反应器中的24小时。反应速度由液体中的氧的溶解速度确定(质量传递限制)。ATR中的改善反应时间可以有助于改善混合效率并且因此更快的质量传递。该性能差异对于扩大变得更加显著。当分批反应器扩大(通过增加直径和长度)时,混合效率降低。当ATR扩大(通过增加管长度)时混合效率保持不变。

[0058] 这些结果示出了高效混合对于加速反应速度的益处。然而良好的混合不仅对于质量传递受限的反应是重要的,它也对于有序流动是重要的。下面的图8显示了由ATR 1升容器处理的反应器体积的数量与获得的转化率的关系。执行该测试以评估ATR的有序流动能力。

[0059] 图形显示在已经处理1.7个反应器体积之后ATR达到稳定的速度,这由该点之后的恒定转化率指示。获得的该稳定转化率指示处理流体正在以恒定的反应时间进行处理,即,移动通过反应器的流体具有基本一致的停留时间。这指示有序流动。

[0060] 对于许多类型的反应,有序流动对于控制反应时间和最大化反应速度、产品和品质是重要的。在常规管式反应器中有序流动依赖于高速度。在该实验中,管直径为42mm。为了在没有动态混合的情况下在该直径的管中保持有序流动将需要具有0.03m/秒的最小线速度的紊流。如这些结果所指示的,ATR可以在0.00002米/秒的速度下保持有序流动。该结果的商业意义是显著的。ATR更灵活,原因是它的性能不取决于流体速度。它也可以以更低压降在短的大直径管中输送良好的性能。管长度和压降两者对成本有重大影响。

[0061] ATS可以用于(但不限于)精细化工、食品、聚合物、散装化学品、药物以及矿物处理中的扩大研究和制造工艺。

[0062] ATS在短且大的管中输送良好的栓塞流和良好的混合。取决于反应类型,这些能力不同地有助于更快的反应时间、更小的设备、更高的产量、更高的纯度、改善的安全性和处理在大分批反应器中不可能的反应类型的能力。

搅拌管系统

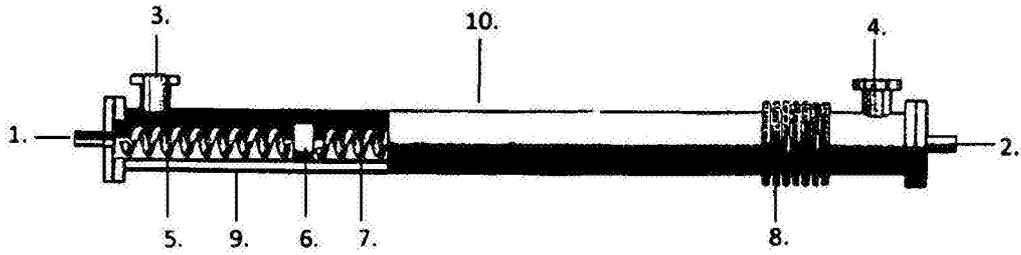


图1

显示振荡平台上的多个通道束的搅拌系统(振荡平台机构的细节未示出)

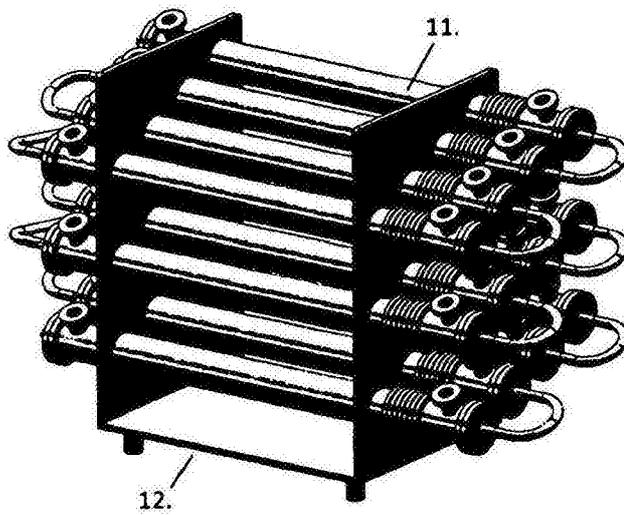


图2

显示带有弹簧搅拌物的内部搅拌物的通道的剖切段

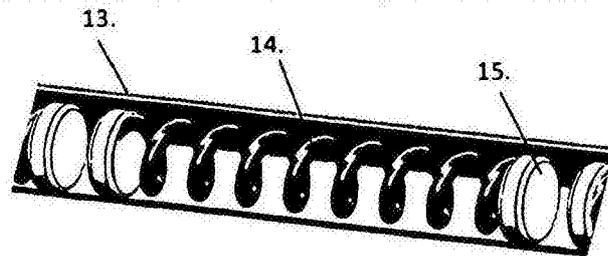


图3

显示带有辐条搅拌物的内部搅拌物的管的剖切段

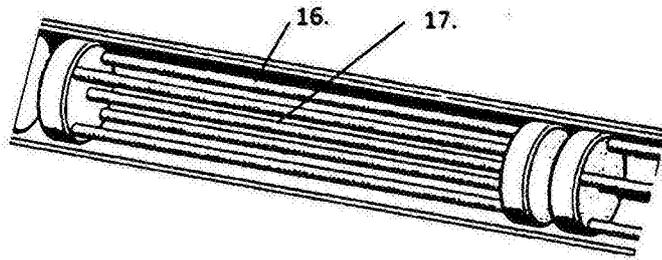


图4

带有静态搅拌引导件的混合单元

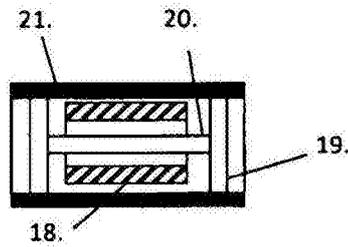


图5

逆流系统

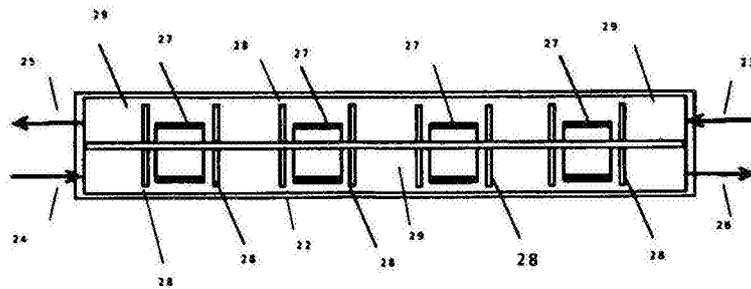


图6

针对ATR和1升分批系统的停留时间与转换率的关系

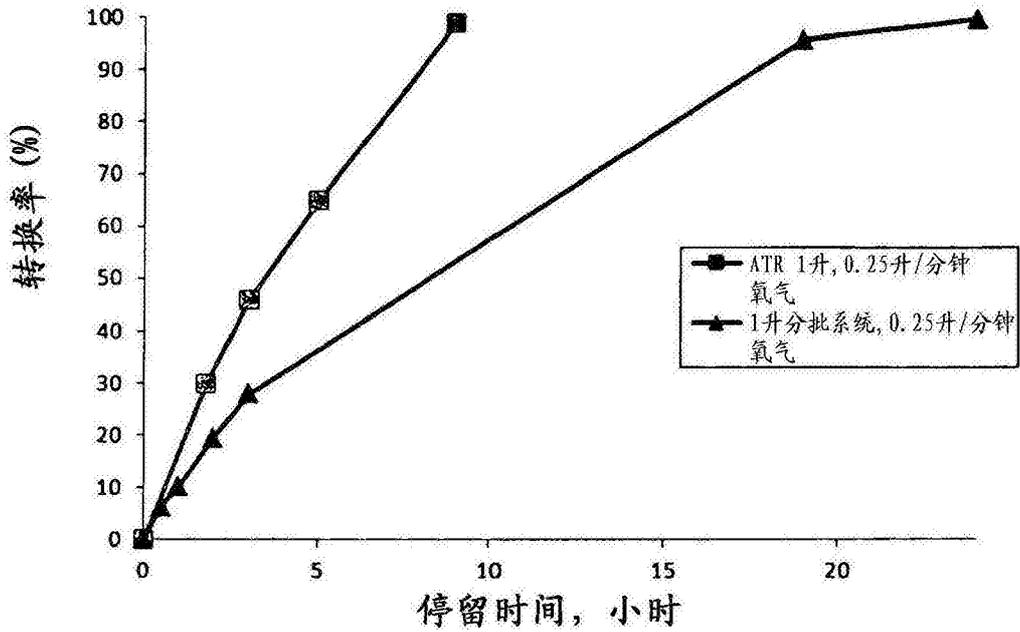


图7

1升ATR中的被处理反应器容积与转换率的关系

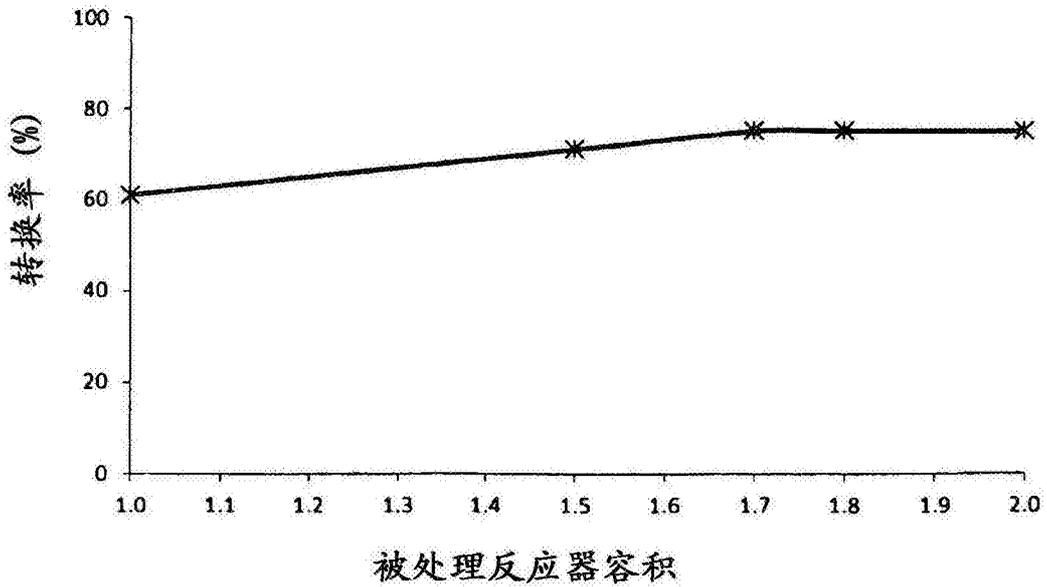


图8