(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 116836783 A
(43)申请公布日 2023.10.03

(21)申请号 202310448218.2

(22)申请日 2023.04.24

(71)申请人 南京工业大学
地址 211816 江苏省南京市高新区浦珠南路30号

(72)发明人 李干禄 黎兴燕 陈可泉 李辉 陈家俊 甘建 何峰 张阿磊

(74)专利代理机构 江苏致邦律师事务所 32230
专利代理师 郭雪丽 徐蓓

(51)Int.Cl.
C12M 1/02(2006.01)
C12M 1/06(2006.01)
C12M 1/00(2006.01)
B01F 27/192(2022.01)
B01F 27/90(2022.01)
B01F 27/92(2022.01)
B01F 27/2122(2022.01)

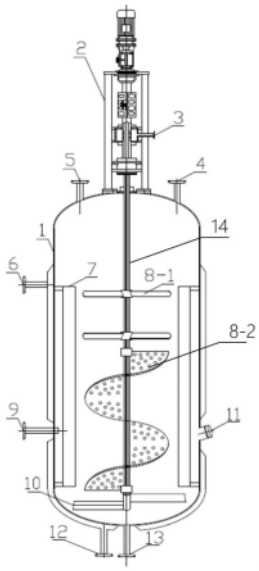
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

一种高好氧非牛顿流体生物反应器

(57)摘要

本发明提供了一种高好氧非牛顿流体生物反应器，包括罐体、动力装置、进气装置、动态膜气体分布器和非牛顿流体搅拌桨叶，动态膜气体分布器包括搅拌空心轴和设置于搅拌空心轴下部的曝气叶轮，搅拌空心轴密封地进入罐体，动力装置在罐体之外与搅拌空心轴的顶端固定连接，进气装置在罐体之外连通与搅拌空心轴的内部；曝气叶轮为中空结构，包括中空的曝气桨叶，曝气桨叶的下侧壁为敞口结构，在敞口处设有微孔曝气膜片，曝气叶轮的内部与搅拌空心轴内部相通；非牛顿流体搅拌桨叶固定于搅拌空心轴上，位于曝气叶轮的上方。本发明强化了非牛顿流体的传质传热，提高产品收率和品质，节省能耗，减少碳排放，适合石油化工、生物化工和医药等领域的多相反应。



CN 116836783 A

1.一种高好氧非牛顿流体生物反应器,其特征在于,包括罐体(1)、动力装置(2)、进气装置(3)、动态膜气体分布器和非牛顿流体搅拌桨叶(8),所述罐体(1)上设有出气口(4)、进料口(5)和出料口(13);所述动态膜气体分布器包括搅拌空心轴(14)和设置于搅拌空心轴(14)下部的曝气叶轮(10),所述搅拌空心轴(14)密封地进入罐体(1),所述动力装置(2)在罐体(1)之外与搅拌空心轴(14)的顶端固定连接,所述进气装置(3)在罐体(1)之外连通与搅拌空心轴(14)的内部;

所述曝气叶轮(10)为中空结构,包括中空的曝气桨叶(10-4),所述曝气桨叶(10-4)的下侧壁为敞口结构,在敞口处设有微孔曝气膜片(10-4-1),所述曝气叶轮(10)的内部与搅拌空心轴(14)内部相通;所述非牛顿流体搅拌桨叶(8)固定于搅拌空心轴(14)上,位于曝气叶轮(10)的上方;在罐体(1)的内壁设有挡板(7)。

2.根据权利要求1所述的高好氧非牛顿流体生物反应器,其特征在于,所述曝气桨叶(10-4)采用平桨式或斜桨式桨叶,优选斜桨式桨叶。

3.根据权利要求1所述的高好氧非牛顿流体生物反应器,其特征在于,所述微孔曝气膜片(10-4-1)采用金属烧结膜、陶瓷膜、工程塑料膜中的一种,膜孔径在500nm~20um,优选800nm~10um。

4.根据权利要求2所述的高好氧非牛顿流体生物反应器,其特征在于,当所述曝气桨叶(10-4)为斜桨式桨叶时,其与搅拌空心轴(14)的夹角α为5~30度,优选10~15度。

5.根据权利要求1所述的高好氧非牛顿流体生物反应器,其特征在于,所述曝气叶轮(10)与搅拌空心轴(14)采用双O型圈密封,并用螺丝锁紧。

6.根据权利要求1所述的高好氧非牛顿流体生物反应器,其特征在于,所述微孔曝气膜片(10-4-1)与曝气桨叶(10-4)采用烧结、焊接、对夹、粘结、卡槽镶嵌中的一种方式制成。

7.根据权利要求1所述的高好氧非牛顿流体生物反应器,其特征在于,所述非牛顿流体桨叶8为双层对流桨叶(8-1)和螺旋式桨叶(8-2)的组合或者为桨板式桨叶(8-3)和翻转式桨叶(8-4)的组合。

8.根据权利要求7所述的高好氧非牛顿流体生物反应器,其特征在于,在所述双层对流桨叶(8-1)和螺旋式桨叶(8-2)的组合中,双层对流桨叶(8-1)位于螺旋式桨叶(8-2)的上方,双层对流桨叶(8-1)为斜叶平桨,流场为上下对流;螺旋式桨叶(8-2)桨叶上开有5~10mm小孔,开孔率为60%;其旋转直径为罐体1内壁挡板内径的0.9~0.98倍,搅拌转速为0.5~200rpm,优选5~100 rpm。

9.根据权利要求7所述的高好氧非牛顿流体生物反应器,其特征在于,

在所述桨板式桨叶(8-3)和翻转式桨叶(8-4)的组合中,桨板式桨叶(8-3)和翻转式桨叶(8-4)自上而下交替间隔设置,,其旋转直径为罐体1内壁挡板内径的0.9~0.98倍,搅拌转速10~250rpm,优选50~200 rpm。

10.根据权利要求1所述的高好氧非牛顿流体生物反应器,其特征在于,所述进气装置(3)包括进气口和进气腔,所述进气口与进气腔相通,所述搅拌空心轴(14)穿过进气腔伸入罐体(1)内,且搅拌空心轴(14)在进气腔内设置有气孔,进气腔的上下端面通过密封装置与搅拌空心轴(14)密封连接。

一种高好氧非牛顿流体生物反应器

技术领域

[0001] 本发明属于化工技术领域，具体涉及一种高好氧非牛顿流体生物反应器。

背景技术

[0002] 以高粘度为特征的微生物发酵产品是近年来利用现代工业生物技术开发的新型产品，比如生物多糖、聚谷氨酸、聚乳酸等，在食品、石油、医药等工业中具有广泛应用前景。由于我国在高粘度高好氧发酵技术方面与国外存在一定差距，所以高品质和高性能微生物发酵产品生产基本上被国外著名生产企业所垄断，主要是因为传统搅拌桨叶的传质和混合效率不能满足高粘度发酵的需要，气体分散效果不理想，生产过程的能耗占成本的比重较大。因此，迫切需要建立自主创新的支撑技术和装备来克服高粘度高好氧发酵过程中存在的关键问题。

[0003] 牛顿流体和非牛顿流体，研究者发现非牛顿流体在搅拌罐内的死区较多；研究者进一步研究了非牛顿流体在搅拌槽内的死区以及死区的微粒混合情况，发现使用偏心搅拌、动态混合、添加挡板、设计特殊形式的桨叶等方法可以减小非牛顿流体中的死区，促进流体在槽内的分散和混合。由于受到表面张力、粘性力、惯性力和浮力的共同作用，加之流体固有复杂性，非牛顿流体中的气泡往往会表现出不同的形状和轨迹，从而影响气液两相的传质、传热和化学反应。在搞粘性非牛顿流体中，由于气泡上升速度较小，气泡不容易聚并和破裂，因此气泡的生成行为就显得尤为重要。因此，流体的流动混合和初始气泡的形成是非牛顿流体体系发酵传质的关键问题。

[0004] 在气液两相流的研究中，牛顿流体模型自提出以来被众多研究者作为流体研究的标准。不过随着工业技术的快速发展，研究发现，简单的牛顿流体模型并不适用大量新型高分子溶液即非牛顿流体溶液。非牛顿流体因其自身相对复杂的流变性，气泡在非牛顿流体中会表现出异于牛顿流体中的形态特性、运动特性以及气泡之间聚并和碰撞行为。因此，研究非牛顿流体中气泡的运动和相互作用以及气泡对周围液相场的影响对实际液相接触的工艺过程设备工作效率的提高以能耗的降低有着重要的意义。在气液两相传质和反应动力学的研究中，气泡的生成及上升运动行为的研究起到了至关重要的作用。气泡的产生过程对气泡初始尺寸以及初始扰动等起到了决定性作用，而气泡的上升过程则会影响气液相间的接触时间，进而影响相间的传递进程。

发明内容

[0005] 针对现有技术的不足，本发明提供了一种高好氧非牛顿流体生物反应器，其不仅能利用自身搅拌装置的旋转带动动态膜气体分布器产生微小气泡，还根据非牛顿流体的特性在反应装置内的搅拌轴上设置适合非牛顿流体的桨叶，强化了非牛顿流体的传质传热，提高产品收率和品质，节省能耗，减少碳排放，适合石油化工、生物化工和医药等领域的多相反应；该生物反应器具有初始气泡分布均匀及粒径小，整体混合效果好，结构简单，维修方便，操作灵活等特点。

[0006] 为实现上述目的，本发明采用如下的技术方案：

一种高好氧非牛顿流体生物反应器，包括罐体、动力装置、进气装置、动态膜气体分布器和非牛顿流体搅拌桨叶，所述罐体上设有出气口、进料口和出料口；所述动态膜气体分布器包括搅拌空心轴和设置于搅拌空心轴下部的曝气叶轮，所述搅拌空心轴密封地进入罐体，所述动力装置在罐体之外与搅拌空心轴的顶端固定连接，所述进气装置在罐体之外连通与搅拌空心轴的内部；

所述曝气叶轮为中空结构，包括中空的曝气桨叶，所述曝气桨叶的下侧壁为敞口结构，在敞口处设有微孔曝气膜片，所述曝气叶轮的内部与搅拌空心轴内部相通；所述非牛顿流体搅拌桨叶固定于搅拌空心轴上，位于曝气叶轮的上方；在罐体的内壁设有挡板。

[0007] 动力搅拌装置旋转时，其带动曝气叶轮同时旋转，处理后的气体由进气装置进入搅拌空心轴，通过微孔曝气膜片的微孔进入非牛顿流体反应液中，形成微气泡，同时动态膜气体分布器将微气泡分散至溶液中，旋转的膜孔可以避免传统方法产生微气泡或微小液滴时造成孔径堵塞的潜在风险。

[0008] 尽管初始的气泡有比较高的传质效果，但是，非牛顿流体的特性使反应液中气-液和液-液混合传质差，反应体系中的死区较多，本发明采用非常适合非牛顿流体的螺带式和螺旋螺杆式桨叶，大大降低反应体系的死区，将曝气桨叶的曝气面设置为朝下，消除反应器底部死区，也能够更好分布均匀，提高发酵产品的收率和品质，节约了生产成本。

[0009] 进一步的，所述曝气桨叶采用平桨式或斜桨式桨叶，优选斜桨式桨叶。

[0010] 进一步的，所述微孔曝气膜片采用金属烧结膜、陶瓷膜、工程塑料膜中的一种，膜孔径在500nm~20um，优选800nm~10um。

[0011] 进一步的，当所述曝气桨叶为斜桨式桨叶时，其与搅拌空心轴的夹角α为5~30度，优选10~15度。

[0012] 进一步的，所述曝气叶轮与搅拌空心轴采用双O型圈密封，并用螺丝锁紧。

[0013] 进一步的，所述微孔曝气膜片与曝气桨叶采用烧结、焊接、对夹、粘结、卡槽镶嵌中的一种方式制成。

[0014] 进一步的，所述非牛顿流体桨叶为双层对流桨叶和螺旋式桨叶的组合或者为桨板式桨叶和翻转式桨叶的组合。

[0015] 进一步的，在所述双层对流桨叶和螺旋式桨叶的组合中，双层对流桨叶位于螺旋式桨叶的上方，双层对流桨叶为斜叶平桨，流场为上下对流；螺旋式桨叶桨叶上开有5~10mm小孔，开孔率为60%；其旋转直径为罐体1内壁挡板内径的0.9~0.98倍，搅拌转速为0.5~200rpm，优选5~100 rpm。

[0016] 进一步的，在所述桨板式桨叶和翻转式桨叶的组合中，桨板式桨叶和翻转式桨叶自上而下交替间隔设置，其旋转直径为罐体1内壁挡板内径的0.9~0.98倍，搅拌转速10~250rpm，优选50~200 rpm。

[0017] 非牛顿流体具有爬杆性、无管虹吸、射流胀大和湍流减阻性，因此，非牛顿流体的流动特性与牛顿流体相差较大；所以两者的混合机理不同。一般流体混合过程的机理为对流混合、剪切混合和扩散混合；与牛顿流体不同，非牛顿流体的混合机理主要是剪切混合和对流混合，扩散混合作用几乎没有。对于反应器中非牛顿流体的混合，单有推动力的剪切作用是不够的，因为反应器中剪切速率分布不均匀，局部混合效率有快有慢，在螺旋螺杆桨叶

旋转背面会出现“抱团”,即有死区现象,在螺旋螺杆桨叶开孔可以消除“抱团”现象,改变了流体流动特性,减少桨叶附近死区问题。

[0018] 进一步的,所述进气装置包括进气口和进气腔,所述进气口与进气腔相通,所述搅拌空心轴穿过进气腔伸入罐体内,且搅拌空心轴在进气腔内设置有气孔,进气腔的上下端面通过密封装置与搅拌空心轴密封连接。

[0019] 进一步的,所述罐体上还设置有夹套,所述夹套上设置有夹套内介质出口和夹套内介质进口。

[0020] 进一步的,所述罐体上还设置有取样口。

[0021] 进一步的,所述罐体上还设置有仪表检测探头口。

[0022] 进一步的,所述空心轴与罐体相接触处设置有机械密封。

[0023] 进一步的,所述机械密封为单面密封或双端面密封。

[0024] 与现有技术相比,本发明具有以下的有益效果:

1、本发明采用动态膜曝气,在非牛顿流体体系中生成比表面积大的微气泡,提高了相面间接触面积,可以提升体积传质效率,同时杜绝了传统方法产生微气泡或微小液滴时气体分布器微孔堵塞的潜在风险。

[0025] 2、本发明中的高好氧非牛顿流体生物反应器结构简单,成本低廉。

[0026] 3、本发明采用适合非牛顿流体搅拌的桨型和曝气方式,解决了非牛顿流体发酵的流体的流动混合和初始气泡的形成关键性问题,大大提高气液传质效率和节约生产成本。

附图说明

[0027] 图1为本发明实施例1所述的高好氧非牛顿流体生物反应器的结构示意图;

图2为本发明实施例2所述的高好氧非牛顿流体生物反应器的结构示意图;

图3为本发明实施例1和实施例2所述的曝气叶轮轴套结构示意图;

图4为本发明实施例1和实施例2所述的曝气桨叶的安装角度示意图;

图5为本发明实施例1和实施例2所述的微孔曝气膜片在曝气桨叶上的安装示意图;

图6为本发明实施例1和实施例2所述的高好氧非牛顿流体生物反应器的工作示意图。

[0028] 其中,1-罐体;2-动力装置;3-进气装置;4-出气口;5-进料装置;6-夹套内介质进口;7-挡板;8-1-双层对流桨叶;8-2-螺旋式桨叶;8-3-桨板式桨叶,8-4-翻转式桨叶;9-取样口;10-气体分布桨叶;10-1-定位螺母;10-2-密封槽;10-3-键槽;10-4-平桨叶;10-4-1-曝气膜片;11-仪表检测探头口;12-夹套内介质出口;13-出料口,14-搅拌空心轴。

实施方式

[0029] 下面结合附图及具体实施例对本发明作进一步说明。

[0030] 本发明气体从进气装置,然后从搅拌空心轴到达动态膜气体分布器旋转产生微气泡,结构简单,成本低廉;同时不局限于生物反应器,也可以用于一般的非牛顿流体的气液两相和气液固三相体系的反应。

实施例

[0031] 如图1-4所示的一种高好氧非牛顿流体生物反应器，包括罐体1、进气装置2、动力装置3、动态膜分布器10和非牛顿流体桨叶8，所述罐体1上设置有出气口4、进料口5和出料口13；所述动态膜气体分布器包括搅拌空心轴14和设置所述搅拌空心轴下部的曝气叶轮10，所述搅拌空心轴通过密封装置穿过所述罐体1，所述动力装置3在罐/1之外与搅拌空心轴14的顶端固定连接，所述进气装置2在罐体1之外与搅拌空心轴14相连和相通；

所述曝气叶轮10为中空结构，包括中空的曝气桨叶10-4，所述曝气桨叶10-4的下侧壁为敞口结构，在敞口处设有微孔曝气膜片10-4-1，所述曝气叶轮10的内部与搅拌空心轴14内部相通；所述非牛顿流体搅拌桨叶8固定于搅拌空心轴14上，位于曝气叶轮10的上方；在罐体1的内壁设有挡板7。

[0032] 所述曝气桨叶10-4采用平桨式或斜桨式桨叶，优选斜桨式桨叶，曝气桨叶10-4与搅拌空心轴14的夹角α为5~30度，优选10~15度；曝气桨叶10-4采用大直径平桨桨叶；与牛顿流体不同，非牛顿流体的混合机理主要是剪切混合和对流混合，扩散混合作用几乎没有；同时，由于非牛顿流体的剪切应力、表面张力较大，气泡不容易在流体中随意流动和扩散，因此本发明选择大直径桨叶。另外，为了获得较大的剪切速率对微孔曝气产生微气泡，选用平桨，这有利于非牛顿流体流动的气泡形态特性、运动特性以及气泡之间聚并和碰撞行为。

[0033] 所述微孔曝气膜片10-4-1采用金属烧结膜、陶瓷膜、工程塑料膜，膜孔径在500nm~20um，优选800nm~10um。

[0034] 所述曝气叶轮10与搅拌空心轴14采用双O型圈密封，用螺丝锁紧。

[0035] 所述微孔曝气膜片10-4-1与曝气桨叶10-4采用烧结、焊接、对夹、粘结、卡槽镶嵌等方式制成。

[0036] 所述非牛顿流体桨叶8为双层对流桨叶(8-1)和螺旋式桨叶(8-2)的组合或者为桨板式桨叶(8-3)和翻转式桨叶(8-4)的组合.。

[0037] 在所述双层对流桨叶(8-1)和螺旋式桨叶(8-2)的组合中，双层对流桨叶(8-1)位于螺旋式桨叶(8-2)的上方，双层对流桨叶(8-1)为斜叶平桨，流场为上下对流；螺旋式桨叶(8-2)桨叶上开有5~10mm小孔，开孔率为60%；其旋转直径为罐体1内壁挡板内径的0.9~0.98倍，搅拌转速为0.5~200rpm，优选5~100 rpm。螺

在所述桨板式桨叶(8-3)和翻转式桨叶(8-4)的组合中，桨板式桨叶(8-3)和翻转式桨叶(8-4)自上而下交替间隔设置，，其旋转直径为罐体1内壁挡板内径的0.9~0.98倍，搅拌转速10~250rpm，优选50~200 rpm。

[0038] 所述双层对流桨叶(8-1)和螺旋式桨叶(8-2)的组合和桨板式桨叶(8-3)和翻转式桨叶(8-4)的组合可以减小非牛顿流体中的死区，促进流体在槽内的分散和混合；所述挡板7与双层对流桨叶(8-1)和螺旋式桨叶(8-2)的组合和桨板式桨叶(8-3)和翻转式桨叶(8-4)的组合一样可以减小非牛顿流体中的死区，促进流体在槽内的分散和混合。

[0039] 所述进气装置3包括进气口和进气腔，所述进气口与进气腔相通，所述搅拌空心轴穿过进气腔，搅拌空心轴在进气腔内设置有气孔，进气腔上下端面通过密封装置与搅拌空心轴14密封连接。

[0040] 所述曝气桨叶10-4通过轴套与搅拌空心轴14相连，曝气桨叶10-4的内部与搅拌空心轴14连通。

[0041] 所述罐体1上还设置有夹套，所述夹套上设置有夹套内介质出口6和夹套内介质进口12。

[0042] 所述罐体1上还设置有取样口9。

[0043] 所述罐体1上还设置有仪表检测探头口11。

[0044] 所述搅拌空心轴14与罐体1相接触处设置有机械密封。

[0045] 所述机械密封为单面密封或双端面密封。

[0046] 搅拌器工作时，如图5所示，装置启动时，启动动力装置2，气体从进气装置3进入，然后经过搅拌空心轴14到达曝气桨叶10-4，气体经动态旋转的曝气叶轮生成微小气泡进入溶液，然后在经过双层对流桨叶(8-1)和螺旋式桨叶(8-2)的组合时将气泡分散到非牛顿流体中，达到良好的传质效果，最后反应后的气体逃逸非牛顿流体表面由出气口4离开反应装置。

[0047] 通过上述装置利用裂殖壶菌发酵制备DHA油脂：制备好的培养液从装置进液口5进入罐体1，启动动力装置2，先对培养液进行灭菌，蒸汽从夹套内介质进口9进入夹套对培养液升温，蒸汽冷凝水通过夹套内介质出口12排出，当溶液升至90℃，关闭夹套升温，采用蒸汽继续对培养液升温至121℃，灭菌30分钟，温度通过温度计探头11反映在仪表上，灭菌结束后，开启进气口3使得无菌空气进入罐体1保持罐内压力在0.1MPa，开启夹套内介质进口12和夹套内介质出口9，对培养液进行降温，等培养液温度为30℃停止降温，接入菌种进行培养，在温度30℃、搅拌转速200rpm条件下培养120小时。在不控制pH条件下，分批补加800 $g \cdot L^{-1}$的葡萄糖溶液，发酵罐中控制糖浓度在15 $g \cdot L^{-1}$。无菌空气从进气装置3进入，然后经过空搅拌空心轴到达动态膜气体分布器叶片10-4，气体经动态旋转的曝气叶轮生成微小气泡进入溶液，最后，反应较为完全的混合气体由出气口11离开反应装置。通过本发明装置可以制备DHA油脂，最大生物量达到151.0 $g \cdot L^{-1}$，DHA浓度达到43.3$g \cdot L^{-1}$，DHA在生物量中的质量百分数为29.33%，DHA产率达到369.08mg/(L·h)。

实施例

[0048] 本实例采用的装置与实施例1大致相同，区别在于采用桨板式桨叶(8-3)和翻转式桨叶(8-4)的组合，采用上述装置利用高山被孢霉菌制备ARA油脂：制备好的培养液从装置进液口5进入罐体1，启动动力装置2，先对培养液进行灭菌，蒸汽从夹套内介质进口9进入夹套对培养液升温，蒸汽冷凝水通过夹套内介质出口12排出，当溶液升至90℃，关闭夹套升温，采用蒸汽继续对培养液升温至121℃，灭菌30分钟，温度通过温度计探头11反映在仪表上，灭菌结束后，开启进气口3使得无菌空气进入罐体1保持罐内压力在0.1MPa，开启夹套内介质进口12和夹套内介质出口9，对培养液进行降温，等培养液温度为25℃停止降温，接入菌种进行培养，在温度25℃、搅拌转速200rpm条件下培养120小时。在不控制pH条件下，分批补加800 $g \cdot L^{-1}$的葡萄糖溶液，发酵罐中控制糖浓度在5 $g \cdot L^{-1}$。无菌空气从进气装置3进入，然后经过空搅拌空心轴到达动态膜气体分布器叶片10-4，气体经动态旋转的曝气叶轮生成微小气泡进入溶液，最后，反应较为完全的混合气体由出气口11离开反应装置。通过本发明装置可以制备ARA油脂，最大生物量达到180.0 $g \cdot L^{-1}$，ARA浓度达到46.8$g \cdot L^{-1}$，ARA在生物量中的质量百分数为26.0%，ARA产率达到389.0mg/(L·h)。

[0049] 在本申请的描述中，需要理解的是，术语“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“内”、

“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本申请和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本申请的限制。

[0050] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是，本发明并不局限于上述特定实施方式，本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变化或修改，这并不影响本发明的实质内容。在不冲突的情况下，本申请的实施例和实施例中的特征可以任意相互组合。所属领域的普通技术人员应当理解：以上所述仅为本发明的具体实施例而已，并不用于限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

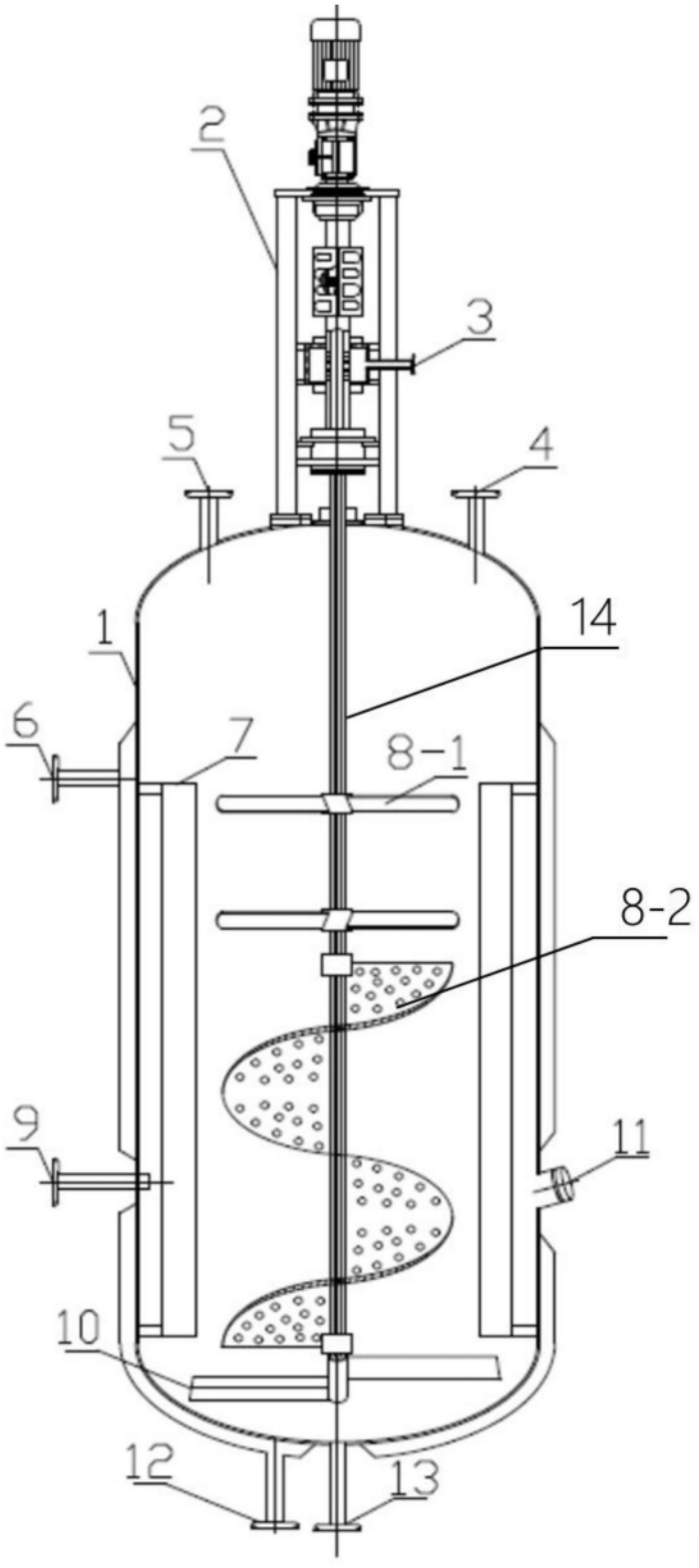


图1

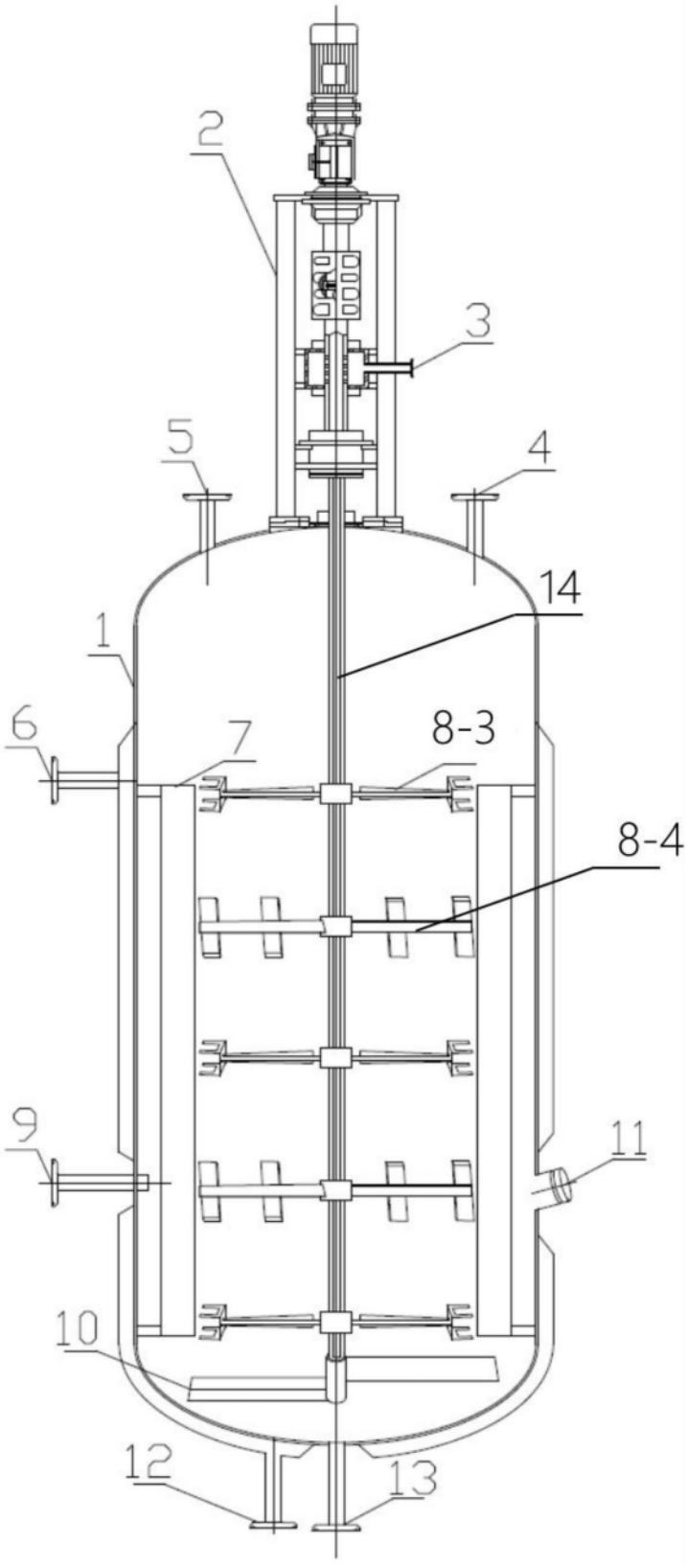


图2

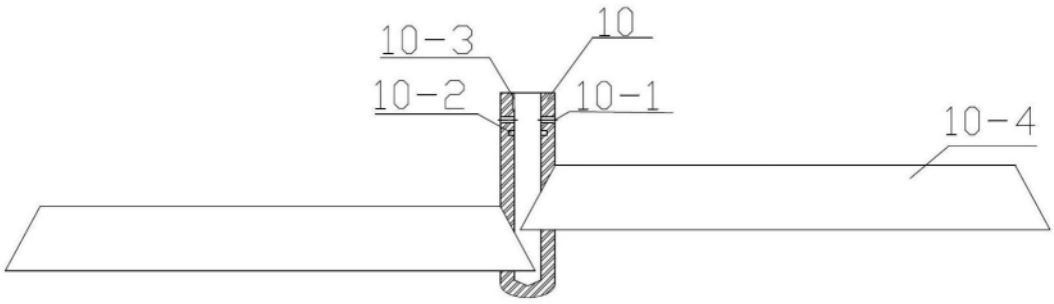


图3

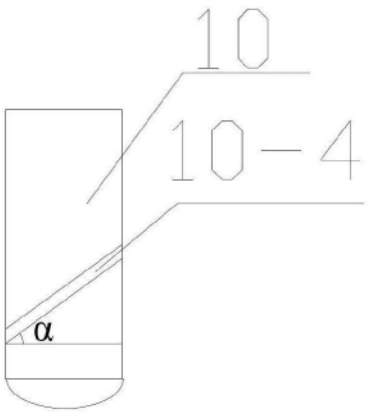


图4

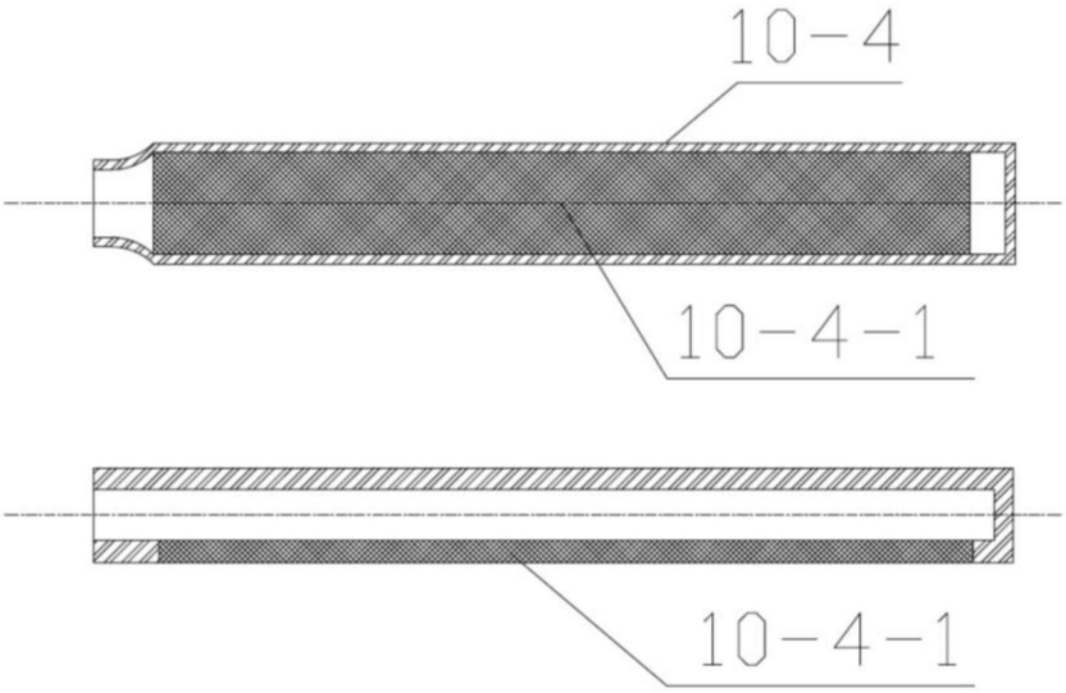


图5

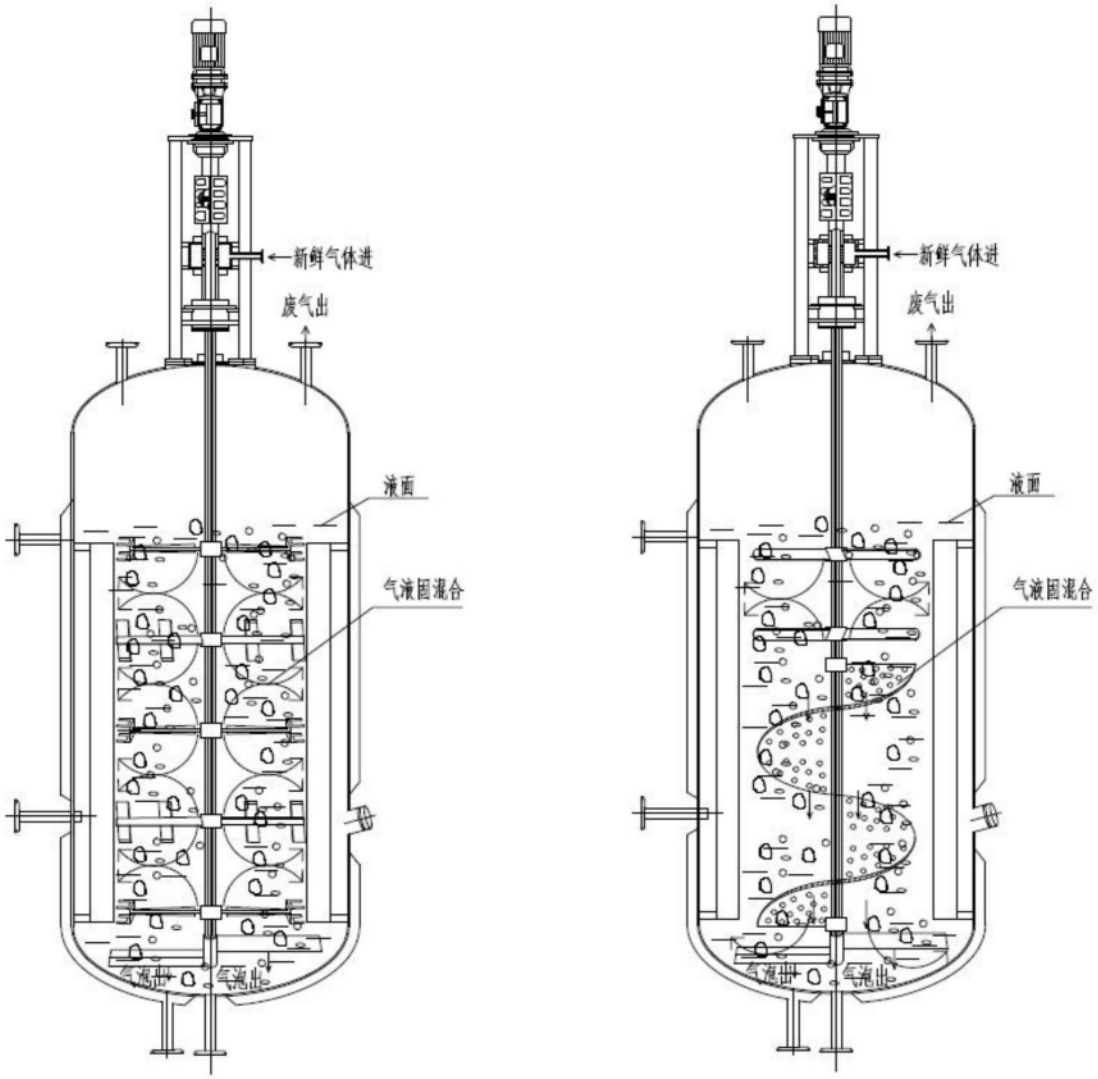


图6