

(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 203247263 U

(45) 授权公告日 2013. 10. 23

(21) 申请号 201320242635. 3

(22) 申请日 2013. 05. 08

(73) 专利权人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市学府路 301 号

(72) 发明人 黄永红 孙玉坤 章金元 张志才  
王博

(74) 专利代理机构 南京知识律师事务所 32207  
代理人 汪旭东

(51) Int. Cl.

C12M 1/12(2006. 01)

C12M 1/02(2006. 01)

C12R 1/865(2006. 01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

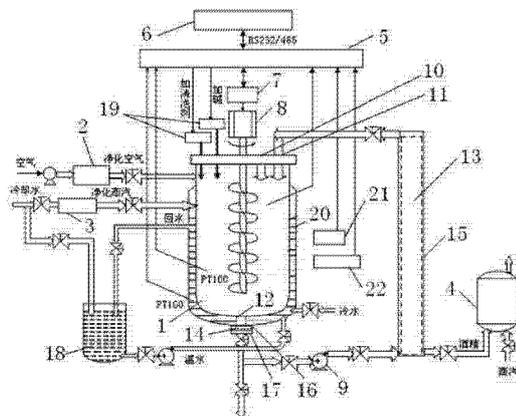
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 实用新型名称

秸秆同步酶解发酵燃料乙醇循环式反应器

(57) 摘要

本实用新型涉及一种秸秆同步酶解发酵燃料乙醇循环式反应器,该反应器包括机械搅拌式发酵罐、空气净化装置、蒸汽产生装置、温度控制系统、蒸馏塔、下位机控制系统、上位机监控系统、调速器与搅拌电机、压力泵,还包括陶瓷超滤膜分离装置,其上端与机械搅拌式发酵罐上端的回料口相连,下端经压力泵与机械搅拌式发酵罐下端的发酵残渣排出口相连。该反应器集灭菌、酶解和发酵于一体,既可用于秸秆同步酶解发酵燃料乙醇的生产,也可用于秸秆分步酶解、发酵工艺生产燃料乙醇;陶瓷超滤膜分离装置能实现纤维素酶、酵母的反复循环利用;该反应器不仅可以用于秸秆酶解发酵燃料乙醇的生产,还可用于抗生素、氨基酸、酶等生物制品的发酵生产。



1. 秸秆同步酶解发酵燃料乙醇循环式反应器,包括 50 ~ 100000L 机械搅拌式发酵罐(1)、空气净化装置(2)、蒸汽产生装置(3)、温度控制系统、蒸馏塔(4)、下位机控制系统(5)、上位机监控系统(6)、传感器与仪表系统、调速器(7)与搅拌电机(8)、配套的管路系统和阀门、0.098MPa ~ 4.0MPa 压力泵(9),所述机械搅拌式发酵罐(1)的上端设有进料口(10)和回料口(11),下端设有发酵残渣排出口(12);其特征在于:还包括陶瓷超滤膜分离装置(13),所述陶瓷超滤膜分离装置(13)的上端与机械搅拌式发酵罐(1)上端的回料口(11)相连,下端经压力泵与机械搅拌式发酵罐(1)下端的发酵残渣排出口(12)相连。

2. 根据权利要求 1 所述的秸秆同步酶解发酵燃料乙醇循环式反应器,其特征在于:还包括一张 30×30 ~ 500×500mm 细滤网(14),所述细滤网(14)设置于机械搅拌式发酵罐(1)下端的发酵残渣排出口(12)处。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的秸秆同步酶解发酵燃料乙醇循环式反应器,其特征在于:所述陶瓷超滤膜分离装置(13)由 1 ~ 10 只  $\Phi 50 \times 5500$  的管式氧化锆陶瓷超滤膜组成,陶瓷超滤膜的膜孔径为 0.05  $\mu\text{m}$  ~ 10  $\mu\text{m}$ 。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的秸秆同步酶解发酵燃料乙醇循环式反应器,其特征在于:所述陶瓷超滤膜分离装置(13)整体设置于不锈钢管(15)内。

5. 根据权利要求 2 所述的秸秆同步酶解发酵燃料乙醇循环式反应器,其特征在于:所述发酵残渣排出口(12)处设有上法兰(16)和下法兰(17),所述细滤网(14)设置于上下法兰连接处或者设置于上法兰(16)里。

## 秸秆同步酶解发酵燃料乙醇循环式反应器

### 技术领域

[0001] 本实用新型属于微生物发酵设备技术领域,涉及一种以秸秆为原料,采用同步酶解发酵工艺,能重复利用含有纤维素酶、木聚糖酶和酵母的发酵液生产燃料乙醇的一体化反应器。

### 背景技术

[0002] 以可再生的秸秆废弃物为原料,采用微生物发酵技术生产燃料乙醇,已经成为缓解我国能源危机,综合利用秸秆废弃物,保障能源安全的重要战略措施。但目前还没有形成大规模、工业化生产,主要的原因就是生产的成本过高。以玉米秸秆为代表的利用秸秆中纤维素生产乙醇的工艺一般包括预处理、酶解和发酵三个步骤。其中酶解主要是水解纤维素和半纤维素分解成糖,发酵主要将糖转化成酒精。目前,秸秆原料的酶解在整个燃料乙醇生产成本中约占 60% 左右,为简化设备,缩短生产周期,常采用同步酶解发酵 (SSF) 工艺方法。该方法是将纤维素酶和合适的酵母放在同一容器中连续进行纤维素的酶解和发酵。该工艺优点降低了葡萄糖的反馈抑制,提高了酒精得率和生产效率。如何提高纤维素酶和酵母的利用率,是进一步提高同步酶解发酵的效率和乙醇的产量,减少纤维素酶和酵母的用量,降低乙醇生产成本的关键。而研发合适的反应器(实用新型专利 ZL200680034205. 5,将纤维素材料转化为乙醇的方法和设备,提到反应器的重要性),为秸秆类原料生产燃料乙醇工业化推进做出积极探索,是该技术领域科研人员急需解决的问题之一。

[0003] 传统的同步酶解发酵反应器大多采用机械搅拌式反应器,纤维素酶和酵母以及秸秆原料一次同时投放,发酵结束后,残余纤维素酶和酵母随着发酵残渣一起放出,造成了纤维素酶和酵母的浪费,没有充分发挥酶和酵母的利用效率。而纤维素酶的用量成本占到酶解发酵成本的 70% 以上。

### 实用新型内容

[0004] 针对现有技术中同步酶解发酵过程中反应器存在的上述问题,为解决富含纤维素酶和酵母的混合菌液的充分循环利用问题,本实用新型提供一种工艺简单、效果显著的循环式一体化反应器。

[0005] 本实用新型的技术方案是:

[0006] 秸秆同步酶解发酵燃料乙醇循环式反应器,包括 50 ~ 100000L 机械搅拌式发酵罐、空气净化装置、蒸汽产生装置、温度控制系统、蒸馏塔、下位机控制系统、上位机监控系统、传感器与仪表系统、调速器与搅拌电机、配套的管路系统和阀门、0.098MPa ~ 4.0MPa 压力泵,所述机械搅拌式发酵罐的上端设有进料口和回料口,下端设有发酵残渣排出口;还包括陶瓷超滤膜分离装置,所述陶瓷超滤膜分离装置的上端与机械搅拌式发酵罐上端的回料口相连,下端经压力泵与机械搅拌式发酵罐下端的发酵残渣排出口相连。

[0007] 进一步,该秸秆同步酶解发酵燃料乙醇循环式反应器还包括一张 30×30 ~ 500×500mm 细滤网,所述细滤网设置于机械搅拌式发酵罐下端的发酵残渣排出口处。

[0008] 进一步,所述陶瓷超滤膜分离装置由 1~10 只  $\Phi 50 \times 5500$  的管式氧化锆陶瓷超滤膜组成,陶瓷超滤膜的膜孔径为  $0.05 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$ 。

[0009] 进一步,所述陶瓷超滤膜分离装置整体设置于不锈钢管内。

[0010] 进一步,所述发酵残渣排出口处设有上法兰和下法兰,所述细滤网设置于上下法兰连接处或者设置于上法兰里。

[0011] 本实用新型的有益效果是:

[0012] (1) 该反应器集灭菌、酶解和发酵于一体,既可用于秸秆同步酶解发酵燃料乙醇的生产,也可用于秸秆分步酶解、发酵工艺生产燃料乙醇。大大提高了设备利用率。

[0013] (2) 该反应器采用了陶瓷超滤膜分离装置,能实现纤维素酶、酵母的反复循环利用,大大减少酶和酵母的用量,节约生产成本,提高生产效率。

[0014] (3) 该反应器不仅可以用于秸秆酶解发酵燃料乙醇的生产,而且还可用于抗生素、氨基酸、酶等生物制品的发酵生产。

### 附图说明

[0015] 图 1 是本实用新型秸秆同步酶解发酵燃料乙醇循环式反应器的结构示意图。

[0016] 图中:1、机械搅拌式发酵罐;2、空气净化装置;3、蒸汽产生装置;4、蒸馏塔;5、下位机控制系统;6、上位机监控系统;7、调速器;8、搅拌电机;9、压力泵;10、进料口;11、回料口;12、发酵残渣排出口;13、陶瓷超滤膜分离装置;14、细滤网;15、不锈钢管;16、上法兰;17、下法兰;18、加热水箱;19、蠕动泵;20、夹套;21、pH 变送器;22、DO 变送器。

### 具体实施方式

[0017] 下面结合附图对本实用新型作进一步详细说明。

[0018] 本实用新型秸秆同步酶解发酵燃料乙醇循环式反应器的结构如图 1 所示,主要包括:50~100000L 机械搅拌式发酵罐 1,空气净化装置 2,陶瓷超滤膜分离装置 13,蒸汽产生装置 3、包括加热水箱 18 的温度控制系统、蒸馏塔 4、下位机控制系统 5、上位机监控系统 6 以及配套的管路系统、阀门,传感器与仪表系统、设置于不锈钢管内 15 的不锈钢细滤网 14、调速器 7 与搅拌电机 8、压力泵 9、蠕动泵 19、机械搅拌式发酵罐 1 外壁处的夹套 20、PH 变送器 21 和 DO 变送器 22 等。机械搅拌式发酵罐 1 的上端设有进料口 10 和回料口 11,下端设有发酵残渣排出口 12,陶瓷超滤膜分离装置 13 的上端与机械搅拌式发酵罐 1 上端的回料口 11 相连,下端与机械搅拌式发酵罐 1 下端的发酵残渣排出口 12 相连。

[0019] 本实用新型公开的循环式反应器在发酵罐底部采用了一张  $30 \times 30\text{mm} \sim 500 \times 500\text{mm}$  不锈钢细滤网对发酵液进行初滤,通过  $0.098\text{MPa} \sim 4.0\text{MPa}$  压力泵、打入  $\Phi 50 \times 5500\text{mm}$  管式氧化锆陶瓷超滤膜装置过滤,该超滤膜具有从发酵液中截留酵母细胞和大分子的能力,小分子乙醇和发酵液通过陶瓷超滤膜进入酒精蒸馏塔中,截留的大分子纤维素酶、木聚糖酶和酵母回流到发酵罐中继续使用。该超滤膜膜孔径要求为  $0.05 \sim 10 \mu\text{m}$ ,压力要求保持在  $0.05 \sim 0.5\text{MPa}$ 。

[0020] 不锈钢细滤网安装于发酵罐底部发酵残渣排出口上法兰 16 和下法兰 17 连接处的中间或者安装在下上法兰的上法兰 16 里,便于拆卸、清洗和更换。氧化锆陶瓷超滤膜装置直接放置于不锈钢管内,转动不锈钢管上部阀门,可以取出或者放置陶瓷超滤膜。

[0021] 本实用新型公开的机械搅拌式发酵罐的通气量应该稳定在 0.1 ~ 3 (V/V/min)。发酵罐灭菌时保持罐压 0.11 ~ 0.12MPa, 降温时保持罐压 0.03 ~ 0.05MPa; 空气净化系统要求通气量 10 ~ 500L/min, 压力 0.25 ~ 0.8MPa。蒸汽产生系统要求蒸汽最大用量(灭菌用) 约为 10kg/h, 压力 0.25 ~ 0.85MPa, 低压蒸汽压力(净化用) 0.16 ~ 0.5 MPa。

[0022] 发酵滤液流入酒精蒸馏塔后, 夹套升温, 维持温度为 85 ~ 90℃, 蒸馏出酒精。

[0023] 秸秆经过预处理、灭菌处理、双酶酶解发酵、发酵液与酒精经过超滤膜分离、发酵液回收利用、酒精蒸馏、补料再次酶解发酵, 膜分离、发酵液回收再利用、酒精再蒸馏、排残渣, 循环生产。该方法可使得富含纤维素酶和酵母的菌液循环利用, 减少纤维素酶和酵母的用量, 降低生产成本, 提高乙醇得率。发酵后的废渣还可以经过再处理, 生产成畜牧业所需的蛋白饲料。

[0024] 为了进一步阐述本实用新型的技术方案所涉及的材料及工艺, 给出了以下实施例, 但是这些实施例不以任何形式限制本实用新型的范围。

[0025] 实施例 1:

[0026] (1) 粉碎: 将新鲜的高粱秸秆清洗后, 用铡草机切割或用锤式粉碎机进行粉碎, 过筛成 40mm 的秸秆粉, 含水率控制在 55% 以下。

[0027] (2) 生物法预处理: 高粱秸秆粉经过白腐真菌进行木质素降解处理。

[0028] (3) 灭菌: 将高粱秸秆粉装入循环式一体化反应器进行高温灭菌, 121℃, 30min 灭菌处理。

[0029] (4) 双酶糖化、发酵: 从发酵罐顶部向下喷淋纤维素酶、木聚糖酶和酿酒酵母的混合溶液, 活性为 1000IU/g 的纤维素酶的加入量为秸秆重量的 1.5%, 活性为 60 亿 /g 的酿酒酵母加入量为秸秆重量的 1%, 水的加入量为秸秆粉重量的 2.5 倍, 酶解、发酵温度控制在 37℃, pH 为 4.5, 搅拌转速控制在 30rpm; 酶解发酵总时间 2.5 天, 残糖不再变化时结束发酵。

[0030] (5) 发酵液过滤: 从发酵罐顶部通入无菌压缩空气, 含有纤维素酶和酵母的发酵液经过发酵罐底部的细过滤网初步过滤后, 从排液口排出;

[0031] (6) 陶瓷超滤膜分离: 从发酵罐底部排出的发酵液经过压力泵, 打入装有氧化锆陶瓷超滤膜的管道, 经过大分子和小分子的分离, 小分子乙醇经过陶瓷超滤膜内部和侧边的微孔, 通过膜分离装置的下出口排到酒精蒸馏塔中, 没有利用完的大分子纤维素酶、木聚糖酶和酵母回流到发酵罐中。

[0032] (7) 补料双酶糖化、发酵: 从进料口补加一定量的秸秆粉, 在富含纤维素酶、木聚糖酶和酵母的发酵液的作用下, 培养基继续酶解成还原糖, 发酵成酒精。

[0033] (8) 蒸馏: 滤液流入酒精蒸馏塔, 夹套升温, 温度为 88℃, 蒸馏, 乙醇得率达 8.5%。

[0034] (9) 排渣: 补料发酵 2.5 天后, 经过压力泵和陶瓷超滤膜的管道分离后, 小分子滤液排到蒸馏塔蒸馏, 残留的大分子纤维素酶和酵母回流到发酵罐中, 可以再次利用。发酵渣经发酵罐底部排出。

[0035] 实施例 2:

[0036] (1) 粉碎: 将新鲜的玉米秸秆清洗后, 用铡草机切割或用锤式粉碎机进行粉碎, 过筛成 30mm 的秸秆粉, 含水率控制在 50%。

[0037] (2) 生物法预处理: 玉米秸秆粉经过白腐真菌进行木质素降解处理。

[0038] (3) 灭菌:将玉米秸秆粉装入循环式一体化反应器进行高温灭菌,121℃,30min 灭菌处理。

[0039] (4) 双酶糖化、发酵:从发酵罐顶部向下喷淋纤维素酶、木聚糖酶和酿酒酵母的混合溶液,活性为 1000IU/g 的纤维素酶的加入量为秸秆重量的 2%,活性为 80 亿 /g 的酿酒酵母加入量为秸秆重量的 0.8%,水的加入量为秸秆粉重量的 2.5 倍,酶解、发酵温度控制在 38℃,pH 为 4.5,搅拌转速控制在 40rpm;酶解发酵总时间 3 天,残糖不再变化时结束发酵。

[0040] (5) 发酵液过滤:从发酵罐顶部通入无菌压缩空气,含有纤维素酶和酵母的发酵液经过发酵罐底部的过滤网初步过滤后,从排液口排出;

[0041] (6) 陶瓷超滤膜分离:从发酵罐底部排出的发酵液经过压力泵,打入装有氧化锆陶瓷超滤膜的管道,经过大分子和小分子的分离,小分子乙醇经过陶瓷超滤膜内部和侧边的微孔,通过膜分离装置的下出口排到酒精蒸馏塔中,没有利用完的大分子纤维素酶、木聚糖酶和酵母回流到发酵罐中。

[0042] (7) 补料双酶糖化、发酵:从进料口补加一定量的秸秆粉,在富含纤维素酶、木聚糖酶和酵母的发酵液的作用下,培养基继续酶解成还原糖,发酵成酒精。

[0043] (8) 蒸馏:滤液流入酒精蒸馏塔,夹套升温,温度为 88℃,蒸馏,乙醇得率 7.8%。

[0044] (9) 排渣:补料发酵 3 天后,经过压力泵和陶瓷超滤膜的管道分离后,小分子滤液排到蒸馏塔蒸馏,残留的大分子纤维素酶和酵母回流到发酵罐中,可以再次利用。发酵渣经发酵罐底部排出。

[0045] 实施例 3:

[0046] (1) 粉碎:将新鲜的水稻秸秆清洗后,用铡草机切割或用锤式粉碎机进行粉碎,过筛成 30mm 的秸秆粉,含水率控制在 53%。

[0047] (2) 生物法预处理:水稻秸秆粉经过白腐真菌进行木质素降解处理。

[0048] (3) 灭菌:将水稻秸秆粉装入循环式一体化反应器进行高温灭菌,121℃,30min 灭菌处理。

[0049] (4) 双酶糖化、发酵:从发酵罐顶部向下喷淋纤维素酶、木聚糖酶和酿酒酵母的混合溶液,活性为 1000IU/g 的纤维素酶的加入量为秸秆重量的 2%,活性为 80 亿 /g 的酿酒酵母加入量为秸秆重量的 1%,水的加入量为秸秆粉重量的 2 倍,酶解、发酵温度控制在 36℃,pH 为 4.5,搅拌转速控制在 30rpm;酶解发酵总时间 3 天,残糖不再变化时结束发酵。

[0050] (5) 发酵液过滤:从发酵罐顶部通入无菌压缩空气,含有纤维素酶和酵母的发酵液经过发酵罐底部的过滤网初步过滤后,从排液口排出;

[0051] (6) 陶瓷超滤膜分离:从发酵罐底部排出的发酵液经过压力泵,打入装有氧化锆陶瓷超滤膜的管道,经过大分子和小分子的分离,小分子乙醇经过陶瓷超滤膜内部和侧边的微孔,通过膜分离装置的下出口排到酒精蒸馏塔中,没有利用完的大分子纤维素酶、木聚糖酶和酵母回流到发酵罐中。

[0052] (7) 补料双酶糖化、发酵:从进料口补加一定量的秸秆粉,在富含纤维素酶、木聚糖酶和酵母的发酵液的作用下,培养基继续酶解成还原糖,发酵成酒精。

[0053] (8) 蒸馏:滤液流入酒精蒸馏塔,夹套升温,温度为 90℃,蒸馏,乙醇得率 7.5%。

[0054] (9) 排渣:补料发酵 3 天后,经过压力泵和陶瓷超滤膜的管道分离后,小分子滤液排到蒸馏塔蒸馏,残留的大分子纤维素酶和酵母回流到发酵罐中,可以再次利用。发酵渣经

发酵罐底部排出。

[0055] 本实用新型具体实施例中发酵液循环利用了两次,但不局限于两次,可以反复使用。以上所述仅为本实用新型的较佳实施例而已,并不用以限制本实用新型。凡在本实用新型的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本实用新型的保护范围之内。

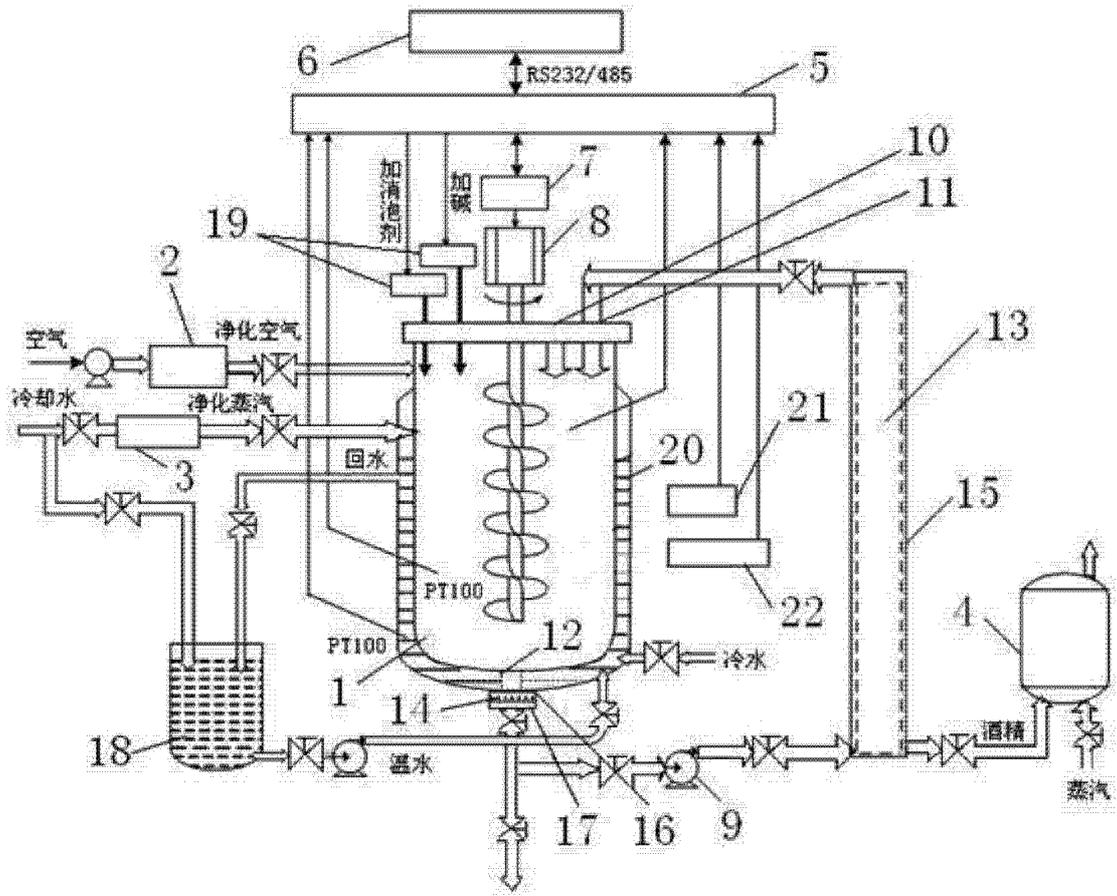


图 1