



(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 207828299 U

(45)授权公告日 2018.09.07

(21)申请号 201721657272.4

(22)申请日 2017.12.01

(73)专利权人 华南理工大学

地址 510006 广东省广州市番禺区广州大学
城华南理工大学

(72)发明人 李爽 朱晔谊 欧阳小丹

(74)专利代理机构 广州市华学知识产权代理有
限公司 44245

代理人 宫爱鹏

(51) Int. Cl.

C12M 1/34(2006.01)

C12M 1/02(2006.01)

C12M 1/00(2006.01)

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

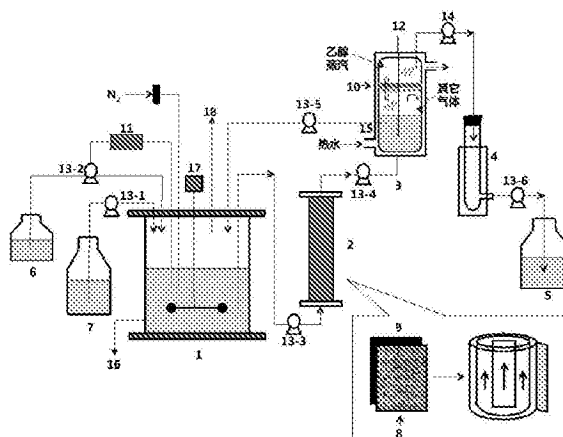
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)实用新型名称

一种连续生产乙醇的装置

(57)摘要

本实用新型公开了一种连续生产乙醇的装置,包括发酵罐、细胞固定床、膜分离反应器、乙醇冷凝回收装置和乙醇回收罐;所述细胞固定床内部设有多孔纤维材料和不锈钢网,多孔纤维材料缠绕在不锈钢网上;所述膜分离反应器内部含有渗透汽化膜;发酵罐中的细胞培养液输送到细胞固定床中,培养液中的固体细胞附着在多孔纤维材料上,而培养液中的液体成分进入到膜分离反应器;膜分离反应器通过真空泵把过膜的乙醇蒸汽泵入到乙醇冷凝回收装置中,通过液氮冷凝获得乙醇液体送至乙醇回收罐;乙醇分离后的培养液再输送回发酵罐进行循环发酵。该装置有效提高了发酵菌体对底物的耐受性,缓解了产物抑制,大幅度提高了生产效率。该装置操作简单,易于工业化放大。



1. 一种连续生产乙醇的装置,其特征在于,包括发酵罐、细胞固定床、膜分离反应器、乙醇冷凝回收装置和乙醇回收罐;所述细胞固定床内部设有多孔纤维材料和不锈钢网,多孔纤维材料缠绕在不锈钢网上;所述膜分离反应器内部含有渗透汽化膜;发酵罐中的细胞培养液输送到细胞固定床中,培养液中的固体细胞在多孔纤维材料的截留下附着其上,而培养液中的液体成分进入到膜分离反应器;所述的膜分离反应器通过真空泵把过膜的乙醇蒸汽泵入到乙醇冷凝回收装置中,通过液氮冷凝获得乙醇液体,在乙醇回收罐中回收;乙醇分离后的培养液再输送回发酵罐进行循环发酵。

2. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述发酵罐连接NaOH补料罐和培养基补料罐。

3. 根据权利要求1或2所述的装置,其特征在于,所述膜分离反应器的外层设置有通热水的夹套,通过夹套控制膜分离反应器内部温度。

一种连续生产乙醇的装置

技术领域

[0001] 本实用新型属于发酵工程与过程工程技术领域,具体涉及一种微生物固定化反应器与产物分离耦合的高密度发酵生产乙醇的装置(IMS),并将其用于乙醇的高密度发酵生产。

背景技术

[0002] 乙醇不仅是优良的燃料,它还是优良的燃油品改善剂。其优良特性表现为:乙醇是燃油的增氧剂,使汽油增加内氧,充分燃烧,达到节能和环保的目的;乙醇还可以经济有效的降低芳烃、烯烃含量,即降低炼油厂的改造费用,达到新汽油标准。以生物质为原料通过发酵生产生物乙醇的工艺,已成为各国科学与研究的热点。然而产物抑制是生物乙醇发酵生产中迫切需要解决的技术难题。当产物达到一定浓度时,即可对菌株的生长和代谢产生抑制作用。因此,在发酵法制乙醇过程中,如何及时的将乙醇从发酵体系中分离出来,以减弱甚至消除其对微生物的抑制作用,是生物质发酵生产乙醇中亟需解决的问题之一。

[0003] 近年来,将发酵分离过程耦合的技术方法吸引着研究者的注意。其中分离技术应用较多的包括汽提、萃取、吸附、超滤、膜蒸馏和渗透汽化等。其中,应用优先透醇膜渗透汽化(pervaporation)分离技术使发酵过程中的抑制性产物乙醇及时分离脱除,而营养物质和微生物细胞仍留在发酵液中,可以实现发酵过程连续化,加快反应进程,提高乙醇的生产效率。渗透汽化是一种利用液体混合物中不同组分在膜中的溶解和扩散性能的不同,有选择性地膜内汽化透过并被冷凝回收的新型膜分离技术,目前有机物脱水的水优先透过膜已进入工业化实用阶段(张晓颖,邓新华,孙元,有机液优先透过渗透汽化膜的应用发展,材料导报,2007,21(10):51-54)。有机物优先透过膜是利用极性低、表面能小的橡胶态聚合物制备的疏水性膜,可分离水中少量或微量挥发组分或有机组分,将该技术与产溶剂发酵过程耦合,可解除产物抑制、提高发酵产率,同时实现对产物的浓缩,显著降低后续能耗。

[0004] 渗透汽化技术与发酵过程耦合被认为是一种节能高效的分离工艺,但渗透汽化技术也有着不可避免的缺点,即发酵液与渗透汽化膜直接接触,导致发酵液中的死细胞大量沉积在膜表面,堵塞膜孔,严重影响传质效率。此外,发酵液中的复杂组分,对膜分离效果的稳定性也带来了严重的考验。此外,有研究表明,固定化细胞能够有效的提高菌体对于代谢产物的耐受能力,并能缩短批次发酵时间,最大效率利用底物发酵积累目标产物。传统的细胞固定化方法有四大类:包埋法、交联法、共价结合(偶联)法、吸附法。包埋法:利用物理方法将细胞包埋得多空载体内部而制成固定化细胞的方法称为包埋法。包埋法反应条件温和,但包埋法由于底物和产物扩散受阻,催化的反应速率可能受到影响。交联法:通过化学、物理手段使生物体细胞间彼此附着交联。该法操作简便,但在较剧烈条件下进行,一般固定化细胞活性不高,因此该方法的推广应用受到了一定的限制。共价结合(偶联)法:细胞表面上官能团和固相支持物表面的反应基团形成化学共价键连接,从而固定微生物。该方法固定化微生物稳定性好,不易脱落,但限制了微生物的活性,同时反应激烈,操作与控制复杂苛刻,并且成本较高。吸附法:将细胞吸附在各类材料表面而使细胞固定的方法。该方法操

作简便、价廉、条件温和,且对细胞活性影响小。

[0005] 现有固定化细胞的方法各有其优缺点,但普遍存在细胞固定装置安装、清洗、换件、灭菌等操作难以连续进行的难点。并且鲜有将细胞固定化与发酵产物分离耦合实现乙醇的高效、连续性生产。

实用新型内容

[0006] 本实用新型的目的是要解决上述常规高密度发酵生产乙醇过程中,高浓度底物和产物积累对细胞生长抑制的问题,以及发酵液长时间与渗透汽化膜的接触而造成的膜透过效率下降的问题。并解决一般微生物细胞固定装置的安装、清洗、换件和灭菌等问题,解决难以连续灭菌、清洗的问题,提供一种可实现连续生产的发酵和产物乙醇分离耦合装置,以及将该装置应用于乙醇的发酵生产。

[0007] 本实用新型的目的通过以下技术方案实现:

[0008] 一种连续生产乙醇的装置,包括发酵罐、细胞固定床、膜分离反应器、乙醇冷凝回收装置和乙醇回收罐;所述细胞固定床内部设有多孔纤维材料和不锈钢网,多孔纤维材料缠绕在不锈钢网上;所述膜分离反应器内部含有渗透汽化膜;发酵罐中的细胞培养液输送到细胞固定床中,培养液中的固体细胞在多孔纤维材料的截留下附着其上,而培养液中的液体成分进入到膜分离反应器;所述的膜分离反应器通过真空泵把过膜的乙醇蒸汽泵入到乙醇冷凝回收装置中,通过液氮冷凝获得乙醇液体,在乙醇回收罐中回收;乙醇分离后的培养液再输送回发酵罐进行循环发酵。

[0009] 所述发酵罐连接NaOH补料罐和培养基补料罐。

[0010] 所述膜分离反应器的外层设置有通热水的夹套,通过夹套控制膜分离反应器内部温度。

[0011] 其中,多孔纤维细胞固定床内部填充高比表面积的多孔纤维材料以固定化细胞,且灵活可拆卸。因细胞固定床为缠绕在支架上的高密度纤维材料,比表面积大大增加,可实现微生物细胞的粘附固定化,在一个批次发酵结束后,方便培养基换液而微生物细胞损伤较少,大大减少了微生物生长所需时间,缩短发酵周期;而且通过批次换液,也解决了高浓度底物对细胞的生长抑制问题。

[0012] 与现有技术相比,本实用新型装置具有如下优点:(1)采用在发酵罐外部安装汽化膜装置,通过管道与发酵罐和冷阱连通构成一个整体装置,通过该装置与发酵罐连通,便于实现产物的生产、分离和回收一体化;(2)通过发酵罐中的蒸汽可以对膜渗透汽化装置进行整体灭菌,利用发酵罐中的清水进行整体清洗;(3)膜渗透汽化装置作为单独的装置,可随时卸载、清洗、换膜和局部灭菌等操作;(4)而采用加热使乙醇汽化,再经过渗透汽化膜,实现产物乙醇的发酵与分离相互耦合,汽化膜不与发酵液直接接触,克服传统膜分离技术弊端的同时,也达到了产物的原位分离,使发酵液中乙醇浓度保持在较低水平,减弱甚至消除产物抑制,增强细胞活性,提高发酵强度和发酵效率,并有助于延长膜寿命。(5)采用多孔纤维细胞固定床,在换液过程中,有利于最大程度保留细胞,维持发酵系统的稳定性。(6)该装置生产效率高,批次生产稳定,固定化材料价格低廉,操作简单,易于工业化放大。

附图说明

[0013] 图1为菌体固定化与产物分离耦联高密度发酵生产乙醇的装置示意图。

[0014] 其中,1-发酵罐;2-细胞固定床;3-膜分离反应器;4-乙醇冷凝回收装置;5-乙醇回收罐;6-NaOH补料罐;7-培养基补料罐;8-多孔纤维材料;9-不锈钢网;10-渗透汽化膜;11-pH计;12-温度计;13-1-第一蠕动泵;13-2-第二蠕动泵;13-3-第三蠕动泵;13-4-第四蠕动泵;13-5-第五蠕动泵;13-6-第六蠕动泵;14-真空泵;15-夹套;16-放料口;17-搅拌桨;18-排气阀。

[0015] 图2为连续批次发酵,葡萄糖(A)和产物乙醇(B)的浓度变化曲线图。

[0016] 图3为菌体固定化与产物分离耦联高密度发酵,葡萄糖(A)和产物乙醇(B)的浓度变化曲线图。

具体实施方式

[0017] 实施例1乙醇的批次发酵

[0018] 利用本实验室已申请专利的嗜热厌氧芽孢杆菌(*Thermoanaerobacteriumaotearoense*P8G3#,专利号为201410453513.8)生产乙醇。

[0019] 种子培养基:葡萄糖5,尿素5,酵母抽提物1-5,氯化铵0.5-3,单位g/L。优选地,还包括如下成分:柠檬酸三钾盐2,一水柠檬酸1,硫酸钠1,磷酸二氢钾1,碳酸氢钠2.5,六水氯化镁1,四水氯化亚铁0.1,二水氯化钙0.2,一水半胱氨酸盐酸1,二盐酸吡哆胺0.004,对氨基苯甲酸0-0.01,D-生物素(D-biotin)0.002,维生素B12 0.002,维生素B1 0.004,单位g/L。

[0020] 发酵培养基:除碳源(葡萄糖浓度120g/L)不同外,其它成分与种子培养基相同。

[0021] 图2为碳源浓度为120g/L葡萄糖的发酵曲线, *Thermoanaerobacteriumaotearoense*P8G3#在起始阶段为迟滞期,碳源的消耗速率和产物的生成速率均较慢,在约250个小时内糖底物仍没有耗尽,发酵末期糖底物仍有35.8g/L,而乙醇产量为27.3g/L,转化率0.32g乙醇/葡萄糖,产率约为0.11g/L/h。且从图2可以明显看出,发酵后期糖底物消耗和乙醇产物生成速率都明显下降,其发酵效率下降的明显因素是产物乙醇对菌株代谢的抑制作用。

[0022] 实施例2乙醇的连续发酵生产

[0023] 一种连续生产乙醇的装置,包括发酵罐1、细胞固定床2、膜分离反应器3、乙醇冷凝回收装置4和乙醇回收罐5;所述细胞固定床2内部设有多孔纤维材料8和不锈钢网9,多孔纤维材料8缠绕在不锈钢网9上;所述膜分离反应器3内部含有渗透汽化膜10。所述发酵罐1连接NaOH补料罐6和培养基补料罐7。所述膜分离反应器3的外层设置有通热水的夹套15,通过夹套15控制膜分离反应器3内部温度。

[0024] 采用实施例相同的乙醇生产菌株和发酵培养基。

[0025] 从-80℃冰箱中恢复冻存菌液,按1:2比例接种至种子培养基中,在55℃、厌氧条件下恢复培养24h。再按1:10比例接种至新鲜种子培养基中,再在55℃、厌氧条件下培养24h,作为种子液备用。

[0026] 过夜培养的嗜热厌氧芽孢杆菌P8G3#种子液以1:10比例接种至含有3L发酵培养基的反应器中,温度55℃。反应器预先通入氮气30min,接种后再通入氮气30min,以保证系统厌氧环境。利用第一蠕动泵13-1将培养基补料罐7中的培养基流加入发酵罐1中,利用发酵

罐1中的搅拌桨17进行搅拌(转速150rpm),同时利用第二蠕动泵13-2将NaOH补料罐6中的8M氢氧化钠流加入发酵罐1中,以控制发酵罐1中的pH 5.5。培养24-30h后,利用第三蠕动泵13-3将发酵液泵入细胞固定床2中,实现细胞在多孔纤维材料上的固定。继续培养12h后,发酵液经第四蠕动泵13-4泵入膜分离反应器3,利用夹套15水浴控制膜分离反应器温度为55℃,同时开启真空泵14,渗透汽化膜10上侧压力为0.6L/min。将真空泵抽出的乙醇蒸汽在浸在液氮中的乙醇冷凝回收装置4中,实现乙醇的发酵-渗透汽化耦合分离,分离操作2h,通过液氮冷凝获得乙醇液体,经第六蠕动泵13-6泵至乙醇回收罐5中回收。同时将膜分离反应器中的残余发酵液(含游离细胞及未充分利用的培养基)经第五蠕动泵13-5泵回发酵罐1中,实现发酵液的循环利用。

[0027] 在乙醇经渗透汽化分离2次后,将发酵罐1中的发酵培养基通过放料口16排出,再将培养基补料罐7中的新鲜培养基重新补充进入发酵罐1中,重复上述操作:每通过膜分离组件分离两次乙醇,则将发酵罐1中的培养基彻底更换。乙醇生产效率逐渐增加,批次生产时间逐渐减少,经16批次稳定发酵(总时间936h),乙醇累计浓度达785.1g/L,单批次乙醇浓度最高31.2g/L,总转化率0.36g乙醇/葡萄糖,生产效率达0.84g/L/h。

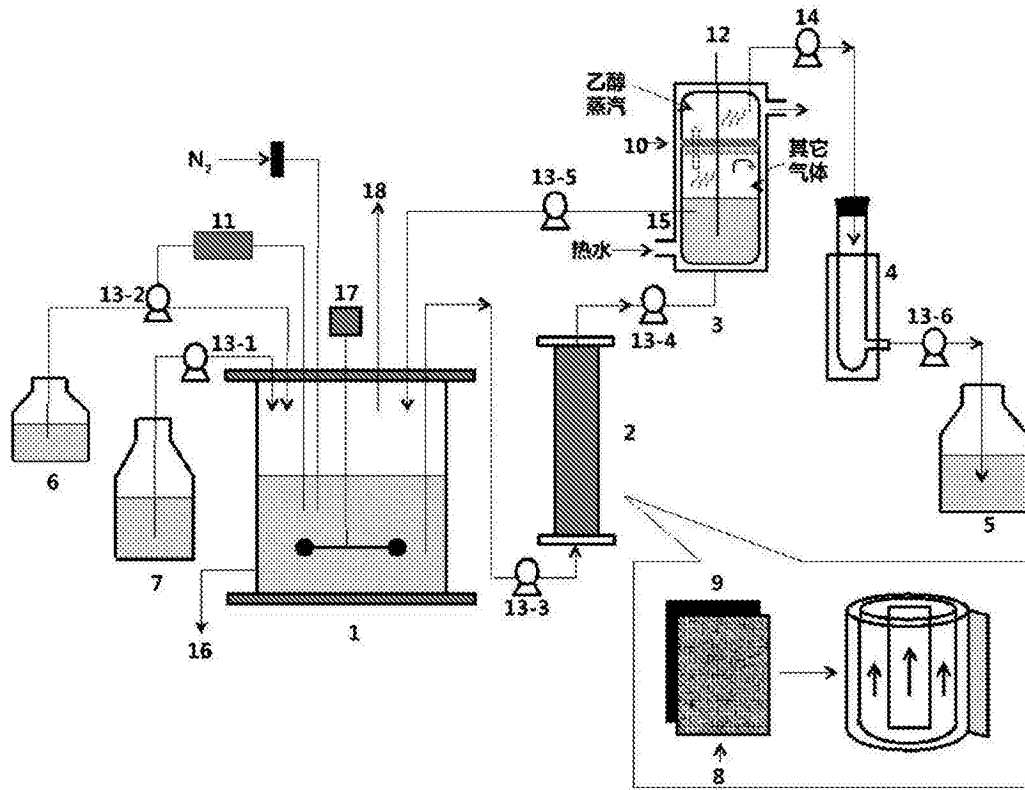


图1

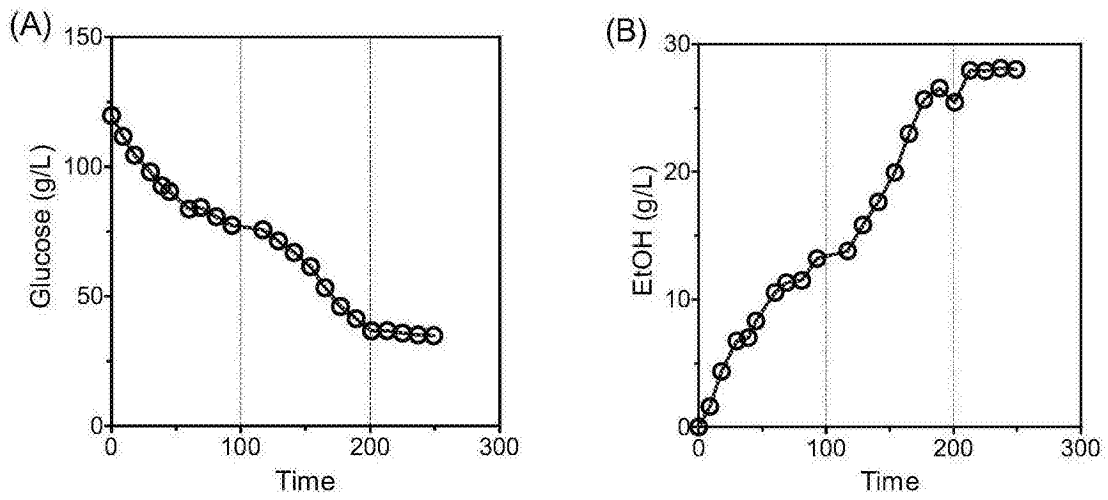


图2

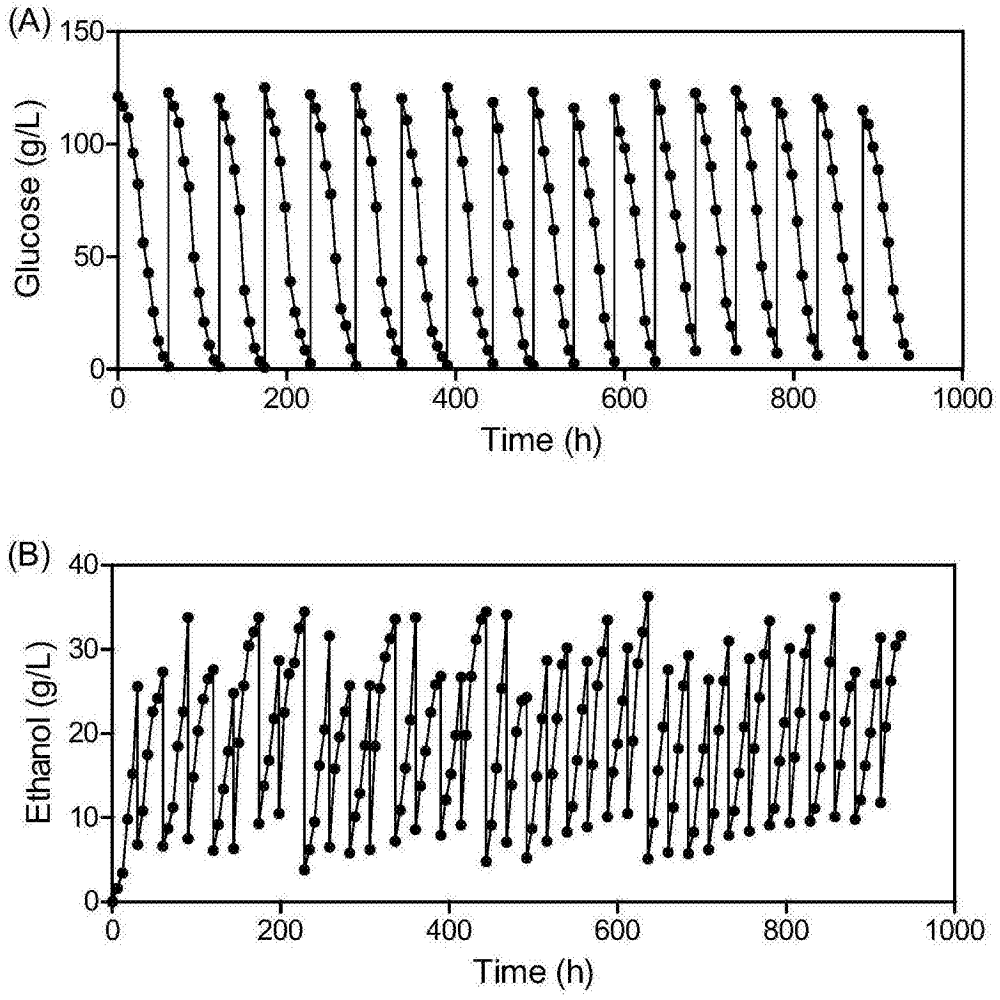


图3