

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

C12M 1/36 (2006.01)

C12M 1/38 (2006.01)

C12M 1/12 (2006.01)



## [12] 实用新型专利说明书

专利号 ZL 200820098607.8

[45] 授权公告日 2009年5月20日

[11] 授权公告号 CN 201241154Y

[22] 申请日 2008.6.20

[21] 申请号 200820098607.8

[73] 专利权人 重庆大学

地址 400030 重庆市沙坪坝区重庆大学生物  
工程学院

[72] 发明人 段传人 朱丽平 姚月良 向凌海

[74] 专利代理机构 重庆华科专利事务所

代理人 康海燕

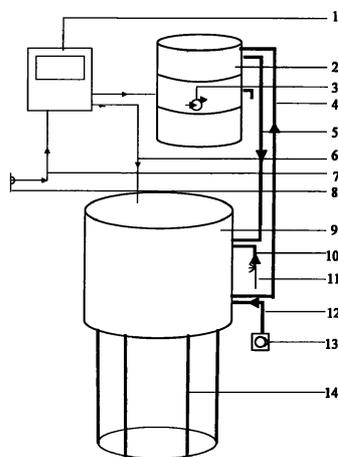
权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 3 页

### [54] 实用新型名称

白腐菌固体发酵系统

### [57] 摘要

本实用新型提出一种白腐菌固体发酵系统，包括控制系统、发酵反应器、供热系统、加湿器及氧气泵等；发酵反应器中央均匀环绕布置有循环水保温管，循环水保温管与发酵反应器外部单独设置的供热系统连接，形成供热回路；加湿器和氧气泵分别通过通蒸汽管道和通氧气管道连接发酵反应器，通蒸汽管道亦在发酵反应器中央均匀环绕布置；发酵反应器内底部设置有滤水装置，内设置有温度探头；控制系统具有显示和设定温度、湿度的控制面板。本系统结构简单，便于操作，可自动控制白腐菌发酵的温度，湿度，通气量，可以实现发酵过程的自动控制，利于白腐真菌高产木质素降解酶，提高发酵均匀性，缩短发酵周期，提高生产率。



1、白腐菌固体发酵系统，包括控制系统、发酵反应器，其特征在于：还包括有连接发酵反应器的供热系统、加湿器、氧气泵；所述发酵反应器中央均匀环绕布置有循环水保温管，循环水保温管与发酵反应器外部单独设置的供热系统连接，形成供热回路；所述加湿器和氧气泵分别通过通蒸汽管道和通氧气管道连接发酵反应器，通蒸汽管道亦在发酵反应器中央均匀环绕布置；所述发酵反应器内底部设置有滤水装置；所述发酵反应器上有取样口、出气口和观察窗，并在发酵反应器内设置有温度探头；所述供热系统、加湿器、氧气泵、温度探头均通过控制线或信号线与控制系统连接，控制系统具有显示和设定温度、湿度的控制面板。

2、根据权利要求1所述的白腐菌固体发酵系统，其特征在于：所述供热系统为电热水容器，通过循环管路连接发酵反应器内的循环水保温管；电热水容器的进水由潜水泵控制，电热水容器和潜水泵均通过控制线连接控制系统。

3、根据权利要求1或2所述的白腐菌固体发酵系统，其特征在于：所述发酵反应器为发酵罐或发酵池结构。

4、根据权利要求3所述的白腐菌固体发酵系统，其特征在于：自动控制面板上设置有有发酵反应器内预设温度表、发酵反应器内温度实时显示表、总电源打开按钮、锁、总电源关闭按钮、总电源开关指示灯、供热系统和潜水泵电源开关以及供热系统和潜水泵电源开关指示灯。

5、根据权利要求4所述的白腐菌固体发酵系统，其特征在于：所述在氧气泵里设置除菌滤膜。

6、根据权利要求5所述的白腐菌固体发酵系统，其特征在于：在所述发酵反应器的周围包有一层海绵保温套。

7、根据权利要求6所述的白腐菌固体发酵系统，其特征在于：在发酵反应器或池体底部设置有可自动关闭或打开的放料孔。

## 白腐菌固体发酵系统

### 技术领域

本实用新型涉及一种发酵装置，具体涉及一种用于白腐菌固体发酵的自动化反应装置，本装置可用于环境保护、生物制浆、食品酿造等领域。

### 背景技术

白腐菌的独特和有效的降解能力，使其成为环境保护领域的一支强劲的生力军，将这类对异生物质具有光谱进攻性丝状真菌的活性潜能，转化为对环境中不同状态介质内的污染物的现实控制，是各国科学家和相关工业界共同的追求目标和不懈的努力方向。尽管相比于成熟的细菌体系而言，白腐真菌在环境保护中的应用，还处于探索和建立阶段；尽管由于这类菌生理代谢的特殊性和对环境因子近乎苛刻的要求，成为实现工业化的严重障碍；但是这一切，并没有阻挡人们在环境保护实践中利用白腐真菌固体发酵的种种研究、开发和尝试。

将白腐菌固体发酵应用于污染处理的最初和最多的实践，是在生物制浆和水污染控制领域，生物制浆是利用微生物所具有的分解木素的能力来除去制浆原料中的木素，使植物组织与纤维彼此分离制成纸浆的过程。一般是在对植物纤维原料进行化学处理或机械磨浆前对其进行生物预处理，目前生物制浆已经进入了工厂化阶段，并取得了良好的效果。

生物制浆技术是一种高效清洁的制浆工艺。利用白腐菌固体发酵对木素的降解作用脱除木素，可以减轻造纸工业的环境污染问题。白腐菌是自然界降解木素最有效的一类微生物，它能产生降解木素或变性木素的活性酶系，木素过氧化物酶(LiP)、锰过氧化物酶(MnP)和酚氧化酶(漆酶, Laccase)系统构成了白腐菌降解木素的主要活性酶系。白腐菌的这一特性已经利用在生物制浆、生物漂白等研究领域，有些已经进入中试阶段，显示了其良好的应用前景。

在文献<<丝状真菌发酵生产中形态的影响与发酵罐设计>>(生物技术-2003年1期)一文中提到专门针对丝状真菌的发酵罐的设计,由于促使菌球形成并不能克服真菌发酵液粘稠带来的所有问题,而且对有些真菌其菌球形成不利于发酵产品的生产,一个简单的方法就是把发酵液稀释,但稀释发酵液只能暂时缓解发酵液粘稠问题,设计特殊的发酵系统

才能从根本上解决发酵过程中发酵液粘稠所带来的困难及其它一系列问题。

目前,大多数机械搅拌的发酵罐都是安装径向流的涡轮式搅拌桨,但近来的研究表明轴向流的搅拌桨在真菌发酵的许多方面具有优势。在以水和CMC为介质的冷模实验表明,轴向流搅拌桨较之径向流桨,在介质的混合性能、传质效果和功率消耗等方面均有明显改善,在对微生物发酵实验中发现轴向流搅拌桨能更好地适用于高密度和高粘度的微生物发酵搅拌,高密度培养最终可使菌体浓度提高12%,产物含量提高10%,高粘度发酵可使生产强度提高20%。而有的研究表明在装配涡轮桨、轴向流桨的发酵罐中,只要给定的容量传质系数一致,真菌的代谢产物生产没有明显差别。轴向流的翼型桨具有剪切性能温和、输送效率高、混合迅速、低能耗及传质系数高等优点,已成功地应用于生产赤霉素、井冈霉素等工业发酵罐。另一种设计是在发酵罐中安装两种不同的搅拌桨,在两根分离的驱动杆上安装了两个不同的搅拌桨,并可以不同的速度旋转,每个桨起不同的作用,在发酵罐底部可安装一个高速的涡轮桨,主要用于打碎气泡和氧的大量传输,在上面则安装一个慢速的轴向流搅拌桨,它使发酵液流向底部的涡轮桨。两种桨的配合使用可以改善发酵液的混合。对产黄青霉素发酵的研究表明,采用轴向流桨和涡轮桨组合替代传统沿用的多层涡轮桨,可以强化混合和供氧,并可通过调整桨径和搅拌转速来保证适宜的剪切环境(青霉素发酵需要较强的剪切环境)。研究丝状真菌发酵的替代混合体系一方面是为了改进大体积液体的混合,另一方面是涡轮桨的高剪切力(特别是高速旋转时)会使微生物菌丝断裂,影响菌体形态、生长和代谢活力,不利于有些发酵产品的生产。如搅拌速率提高后,由于剪切力导致菌丝体的变形和损害,导致土曲霉(*A.terreus*)衣康酸产量的急剧下降。必须指出,搅拌率的提高将导致氧传输率的上升及溶解氧的增加,而溶解氧有时也会使真菌的代谢产物生产降低,如以出芽短梗霉(*Apullulans*)生产细胞外多糖,就是溶解氧而不是剪切力使其产量下降;另外,在发酵的不同时期,菌体对剪切力的敏感程度不同,液泡化将使菌丝容易破碎。对于高搅拌速度所产生的剪切力除对菌丝的物理损伤外,对其亦会产生生理抑制,但这方面的研究并不多。Roukas研究了黑曲霉*Aniger*在不同搅拌速率下发酵生产柠檬酸的情况,检测了TCA循环中的几种关键酶,结果是顺乌头酸酶和异柠檬酸脱氢酶活性随搅拌速率的增加而上升,而柠檬酸合成酶的活性下降,而这正是柠檬酸积累所不希望的。径向流涡轮桨的高剪切力会导致一些丝状真菌发酵产物的形成受抑制,但轴向流翼型桨的剪切力也未必比涡轮桨低,有研究报导在同样的叶轮直径 罐直径比情况下,轴向流搅拌桨(被认为是低剪切力系统)比涡轮桨所引起的菌丝破坏更大,但轴向流桨

能使大体积发酵液得到更好地混合,从而改善营养物质的分配和溶解氧的供给。Li等在生产规模上对Aoryzae的流加发酵研究表明,叶轮功率的增加对生物量、菌体形态及裂殖的影响不大。

目前,也有多种发酵装置的相关专利文献报道,如公开号为CN1958779的中国专利文献公开了“一种固态发酵装置”,它是一种适用于多种微生物规模化发酵的固态发酵装置。它包括主体框架,主体框架内设的1至多个发酵单元;其中的发酵单元由通气板及通气板间设置物料发酵袋构成,该装置结构简单、容易制作,在该装置的发酵单元内发酵能够有效地克服大容量固态发酵反应器中物料温度分布不均一、易感染杂菌、传质传热性差等缺陷。但是,该装置只能解决对水分要求不高的微生物固体发酵,而且没有灭菌设备,所以从装置的应用来看还缺乏一些必要的附件设备。

公开号为CN1786159的中国专利文献还公开了“一种真菌发酵产漆酶的深层固体发酵方法及其装置”,它是将真菌在合成液体培养基中发酵预培养获得菌种种液,与已用蒸汽灭菌的草类生物质原料混合均匀,并放入发酵罐内发酵,发酵过程中,进行间歇式的排气-通氧循环换气操作,发酵后,取出物料,挤出酶液。其装置包括发酵罐、真空泵、氧气瓶、蒸汽发生器、控制系统,发酵罐是恒温罐,其上部与真空泵连接,下部与氧气瓶、蒸汽发生器分别连接,控制系统与发酵罐、真空泵、氧气瓶分别连接。该技术采用间歇式的排气-通氧循环换气操作,提高了气体交换效率和微生物产酶的能力,解决了菌种污染的问题,设备简单,可自动控制操作,提高了发酵器单位容积的发酵原料装载量,实现真菌发酵产漆酶的高产高效。但是该技术是针对于应用到真菌发酵产漆酶的深层固体发酵,对于白腐菌固体发酵高效降解木质素的工艺条件研究方面考虑的不够全面,在白腐菌接种方式上存在一些缺陷,接种应选择在发酵罐内接,减少污染,并且发酵罐本身的灭菌问题也没有解决。

另外,公开号为CN2784419的中国专利文献公开了一种“固体发酵罐”,其包括罐体,所述罐体设置有接种口、进料口、排气口、取样口、测温口、进气口、出料口,所述罐体的外周分布有外夹套,所述外夹套设置有进口和出口,所述罐体套装于转动轴,在罐腔内所述转动轴套装有螺旋片,所述转动轴通过连轴器连接减速器,所述减速器通过轮带连接电机,其特征在于:所述叶片、转动轴分别设置为中空,所述转动轴通过设置在转动轴轴腔一端的密封件连接万向管道,所述密封件将轴腔隔为左腔和右腔,万向管道的输入端穿过密封件后伸入左腔,万向管道的输出端开口与右腔连通,左腔分别与螺旋

叶片的螺旋入口连接相通，螺旋叶片的螺旋出口分别与右腔连接相通。该发酵罐对其内部的物料灭菌时，罐体内的物料不会粘在一块，而且罐体内的温度、湿度容易控制，物料的发酵周期较短。固体发酵罐。但是该装置的应用范围没有描述清楚，比如在低温的微生物固体发酵时，如何来自动控制温度，通氧气时没有考虑对氧气的除菌所带来的污染，另外还缺乏观察窗口，这样不利于观察微生物生长的及时情况。

白腐菌在制浆造纸方面虽然有很多的应用研究，也显示了非常好的效果，但在实际应用方面，仍然存在很多问题。首先，由于白腐菌在木片或纸浆表面生长繁殖以及酶分泌受到基质pH值、氧化还原电位、菌体的营养需求以及温度和湿度等影响，使得白腐菌产生的木素降解酶活力较低；其次，白腐菌产生木素降解酶的培养过程是一个氧耗速率极高的培养过程，而目前的发酵工业是采用深层通风培养来实现，需要较高的搅拌转速，对白腐菌产酶非常不利，导致白腐菌扩大培养困难，不能满足实际生物制浆过程的需要；最后，白腐菌在降解木素的同时也伴随有纤维素的降解，这将影响纸张的强度性能。总之，白腐菌生物制浆过程的最大困难是难以迅速、大量地发酵产生木素降解酶，现有的发酵装置均不能有效地解决此问题，这是白腐菌生物制浆技术工业化应用所面临的主要问题。

#### 实用新型内容

本实用新型的目的在于针对上述技术的不足，提出一种白腐真菌固体发酵系统，其可以高效降解木质素，并且结构更加简单、实用、容量大。

本实用新型的技术方案如下：

一种白腐菌固体发酵系统，包括控制系统和发酵反应器，还包括有连接发酵反应器的供热系统、加湿器和氧气泵等。所述发酵反应器中央均匀环绕布置有循环水保温管，保温管与发酵反应器外部单独设置的供热系统连接，形成供热回路，以使在反应器内能均匀地保持需要的温度。所述加湿器和氧气泵分别通过通蒸汽管和通氧气管连接发酵反应器，以使反应器内保持需要的湿度和氧气，通蒸汽管亦在发酵反应器中央均匀环绕布置，以使湿度均匀。所述发酵反应器内底部设置有滤水装置，以使发酵完后清洗方便，污水可以直接流出。所述发酵反应器上有取样口和出气口，在试验中需要及时取样，取样口直径10cm，可以自动打开和关闭，从这里取样可以保证发酵材料不染菌，而出气口是专门为白腐菌这种需氧型真菌设计的，这样更利于氧气的畅通，保证白腐菌更好的生长，并在

发酵反应器内设置有温度探头，以随时反映出反应器内的温度，以便控制。所述供热系统、加湿器、氧气泵、温度探头均通过控制线或信号线与控制系统连接，控制系统具有显示和设定温度、湿度的控制面板，可以对发酵的温度、湿度、供氧等各种工艺条件进行设定和控制。

所述供热系统为电热水容器，通过循环管路连接发酵反应器内的循环水保温管；电热水容器的进水由潜水泵控制，电热水容器和潜水泵均通过控制线连接控制系统。

所述发酵反应器为发酵罐或发酵池结构，在所述发酵反应器的周围包有一层海绵保温套，在发酵罐或池体底部设置有放料孔，可以自动打开和关闭。

所述温度探头和湿度探头通过取样口或出气口插入在发酵反应器内，或设置在观察窗内，在氧气泵里设置除菌滤膜。自动控制面板上设置有内循环水加热指示灯、温度设定旋钮、实时温度显示窗、总电源的开关、供热系统与潜水泵工作状态指示灯和供热系统、潜水泵电源开关。

#### 本装置的优点

(1) 本系统结构简单，便于操作，可以自动控制白腐菌发酵的温度，湿度，通气量，可以实现发酵过程的自动控制，利于白腐真菌高产木质素降解酶，提高发酵均匀性，缩短了发酵周期，提高了生产率，通过放大发酵装置，扩大发酵容量，可以直接应用到造纸工业前处理中。

(2) 发酵反应器上的观察窗口可以清晰的观察到白腐真菌的生长情况，便于及时调节温度，湿度，通气量等参数。

(3) 将加热系统与发酵反应器分离设置，可以更好的控制试验所需的温度，且发酵反应器外部有一层保温套，保证温度更加稳定，在反应器内均匀布置循环水保温管，可以保证整个发酵过程受热均匀，并且还能使倒进的物料疏松均匀。

(4) 发酵反应器底部设置的滤水器，一方面可以滤去由于通蒸气时盖子上向下滴的水，一方面起到通气的作用，使氧气供应更加均匀充分。

(5) 本系统底部有放料口，可以自动打开和关闭，处理发酵材料时既可以从这里放料，也可以放出冲洗用的水，这样便于彻底清洗。氧气泵里用的除菌滤膜，通入无菌空气，降低杂菌污染率，可提高产品的品质。

附图说明

图1是本系统的结构示意图；

图2是控制面板结构示意图；

图3是发酵罐的结构示意图；

图4是发酵罐盖的示意图；

图5是本系统的控制原理图；

图1中，1 发酵自动控制系统（包括发酵罐内温度的设定，发酵罐内实际温度显示，加热水桶的工作指示等），2 电热水容器，3 潜水泵，4 循环水出水管道，5 循环水进水管，6 温度探头线，7 电源线，8 电源插座，9 发酵罐，10 通蒸气管道，11 超声波加湿器，12 通氧气管道，13 氧气泵，14 发酵罐支架。

图2中，1-1 发酵罐内预设温度表，1-2 发酵罐内温度实时显示表，1-3 总电源打开按钮，1-4 锁，1-5 总电源关闭按钮，1-6 总电源开关指示灯，1-7 电热水容器和潜水泵电源开关，1-8 电热水容器和潜水泵电源开关指示灯。

图3中，9-1 发酵罐盖，9-2 湿度计，9-3 自动控制阀门，9-4 通氧换气有孔管，9-5 循环水保温管，9-6 放料孔，9-7 有孔滤水器，9-8 放水阀。

图4中，9-9 观察窗，9-10 出气孔，9-11 温度探头插孔，9-12 取样孔。

### 具体实施方式

参见图1，本白腐真菌固体发酵系统主要由发酵自动控制系统1、发酵罐9、与发酵罐连接的电热水容器2、超声波加湿器11、氧气泵13、循环潜水泵3等组成，它们通过管路或线路连接成一个完整的发酵系统，管道连接方式：超声波加湿器11的蒸气出口用通蒸气管道10（1寸塑料水管）与发酵罐进气口连接。氧气泵13通过通氧气管道12连接发酵罐9。循环潜水泵3的出水通过循环水进水管5与发酵罐9的入水口连接，再将发酵罐出水通过循环水出水管道4连接，直接将加热/冷却水排回电热水容器2内；温度探头插入发酵罐温度探头插孔9-11（见图4）内并应放到底为止，通过温度探头线6连接发酵自动控制系统1；停止加水蒸气时，应先将发酵罐通气孔用棉塞堵上，防止空气回流带入污染。发酵自动控制系统1通过电源线7与电源插座8连接。发酵罐9安装在发酵罐支架14上，罐体外可加上海绵保温套。

结合参见图2，其中发酵罐9全部用不锈钢制成，可以容纳250kg的固体发酵材料，底部设置有一有孔滤水器9-7，在有孔滤水器上、发酵罐的中央均匀环绕布置有循环水保温

管9-5，循环水保温管9-5的两端通过进出水管路与外部的电热水容器2连接，其上有自动控制阀门9-3，形成循环。发酵罐内还均匀绕布有通氧换气有孔管9-4，通氧换气有孔管9-4与外部的超声波加湿器11和氧气泵13相连，为其供氧换气。参见图3，发酵罐盖9-1上有两个圆形取样孔9-12，一出气孔9-10，一温度探头插孔9-11和两个观察窗9-9。发酵罐的底部有放料孔9-6和放水阀9-8。

再结合参见图4，自动控制面板设置有发酵罐内预设温度表1-1，发酵罐内温度实时显示表1-2，总电源打开按钮1-3，锁1-4，总电源关闭按钮1-5，总电源开关指示灯1-6，电热水容器和潜水泵电源开关1-7，电热水容器和潜水泵电源开关指示灯1-8。

本系统的控制原理如图5所示，通过温度预设器设置所需温度，由温控仪控制电热水桶内水的加热，并控制循环泵为发酵罐提供循环水，由温度探头感知罐内的温度，并通过温控仪控制进行显示。继电保护器和空气开关用于对电热水桶和循环泵进行保护。

#### 整套装置操作流程：

本系统在使用前预先对发酵罐内部进行全面灭菌，采用高压灭菌锅连接管道通蒸气的方式或者直接用10%的次氯酸钠喷雾灭菌，经过实验证明，用10%的次氯酸钠喷雾灭菌后盖严固体发酵罐盖40min完全可以达到无菌的目的，这种方法既安全又简单。在电热水桶中注入不少于2/3总容量的自来水（不许干烧）；把温度探头插入发酵罐插口内，连接好各通气管道和通氧管道以及温度探头；将电热水容器预设温度为45℃（循环水最高温度值）；接着是打开电源，控制箱上自行设置好发酵所需温度，然后把灭菌好的固体发酵基质一部分放入发酵罐中冷却，另外放入超净工作台中冷却，冷却后，开始接种，菌种为之前在造纸原料（木屑或者竹材）中驯化培养后的白腐菌复合菌种，用分层接种的方式来进行，这样可以省去搅拌的步骤，进而保证白腐菌在大型发酵装置中正常生长并高效产酶降解木质素，接种完毕后，插上配电箱三孔插头电源，联通超声波加湿器电源，加湿；联通氧气泵，进行充气；向上合上（通电）空气开关；按下控制面板绿色电源开关，联通总电源，此时面板绿灯亮；旋动温度旋钮到预定发酵罐内需要的温度（35℃-40℃之间），通蒸气，通氧气，发酵罐开始工作。测定温度和湿度，以后每20d从取样口处取10g发酵原料进行相关测定。至发酵完成发酵完成后；按红色按钮关总电源；向下按空气开关断电，拔下所有电源插头；所有旋钮（四个）全部回零；拆除通气通循环水连接管，取出温度探头；取出产物；倒掉电热水桶和加湿器中的水；清洗发酵罐；取出循环水泵拭干保存；完成。

以下是本系统用于纤维素和木质素降解酶固体发酵大规模生产应用实例：

根据白腐真菌生物学特性，白腐真菌的最佳生长条件为 28℃~39℃，湿度在 60%左右，每天通气时间为 2h，pH 值为 4.5 左右。首先选择白腐真菌菌株，经菌种斜面试管培养、锥形瓶中液体扩大培养，7L 发酵罐液体扩大培养，用液体菌种接种到玻璃瓶中进行固体发酵，经过 12 天发酵进行驯化，待接种到发酵罐中的草本或者木本纤维原料中发酵。其中液体培养基配方为 L-1：葡萄糖 10g，磷酸二氢钾 3g，硫酸镁 1.5g，硫酸铜 0.015g，硫酸亚铁 0.2g，硫酸锰 0.2g，酒石酸钠 2mmol，吐温 2g，VB<sub>1</sub>0.001g。固体发酵溶液配方为 L-1：葡萄糖 10g，磷酸二氢钾 3g，硫酸镁 1.5g，硫酸铜 0.015g，硫酸亚铁 0.2g，硫酸锰 0.2g，酒石酸钠 2mmol，吐温 2g，VB<sub>1</sub>0.001g，苯甲醇 6mmol，H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>5g，以竹材与麸皮（质量比为 8：2）的混合物为白腐真菌发酵原料，用固体发酵溶液来混匀，含水率约 60%，分装在纱布袋子里，在立式高压灭菌锅中，0.5MPa，121℃下，灭菌 30min，冷却后放入发酵罐中，分层接种，接种物为经在玻璃瓶中固体发酵驯化 12d 后的白腐菌种。自然发酵 10 天后开始取物料，挤出酶液，测定木素过氧化物酶（LiP）、锰过氧化物酶（MnP）、漆酶（Laccase）的酶活，以后每 10 天测定一次酶活，每 10 天测定一次纤维素和木质素降解率。

根据发酵罐内所需温度，设定电热水桶内温度，此温度适当比发酵罐内预设温度高 3-5℃，通过潜水泵使发酵罐中的进水管和出水管进行水循环达到对发酵罐保温的作用，加湿器与发酵罐之间连有一根通蒸汽管来达到对白腐菌固体发酵过程保湿的作用，通过温湿度计来测定发酵罐内的温度、湿度。氧气泵一端与发酵桶之间连有一通氧气管来达到通氧气的作用，控制箱来控制温度参数。这些管道连接好之后，发酵罐可以正常工作了。

以下是对比实验：

实验室已经研究证实，以黄孢原毛平革菌、朱红栓菌（购买于中科院微生物所）、平菇（购于重庆市农科所）三种白腐真菌的复合菌种接种到以竹材为原料中进行固体发酵的结果表明，利用不同培养条件下白腐真菌复合菌种处理的竹材中，木质素、半纤维素的降解程度，处理前后竹材干物质的损失以及体内干物质消化率等均有很大的差异，温度高低影响白腐真菌固体发酵的时间和竹材木质素的降解率。同时，不同的菌种适宜生长的温度也不尽相同。实验中中所选用菌种适宜温度都在 28~32℃之间。就水分含量和通风状况而言，往往相互影响。若处理竹材的水分含量过低，就会使菌丝生长受到抑制。而含水量过高则导致通风不良，影响 O<sub>2</sub> 的通入，而且发酵过程中产生的 CO<sub>2</sub> 和热量得不

到及时散失,对菌丝的生长不利。实验结果表明,由于白腐真菌对木质素的降解很大程度上是一种氧化过程,在培养所需三种菌种时,充氧是其产生木质素过氧化酶的必要条件,否则不产酶或产酶很少。所以,在保持竹材含水量适宜的条件下,充足的氧气供应对白腐真菌的生长及处理效果至关重要。固体发酵竹材的总水分应控制在3:1为最佳。除了上述影响因素外,白腐真菌在开始生长时还需要基质处于无菌和高度需氧的环境。在有杂菌存在时,杂菌可能占优势,致使处理失败。因此,为了达到提高竹材消化率的目的必须抑制不利菌的生长。

白腐真菌被发现具有自身合成并分泌多种胞外过氧化物酶的能力,它们在竹材上能产生木质素过氧化物酶、锰过氧化物酶和漆酶。其中,LiP和MnP是木质素降解中两类关键酶,在分子氧的参与下,依靠自身形成的 $H_2O_2$ 触发启动一系列自由基链反应,彻底氧化竹材中的木质素。但三种不同菌株产生的酶种类和活性不同,从而直接影响着竹材的降解效果。从图中可知,当以黄孢原毛平革菌、朱红栓菌、平菇为菌株处理竹材的过程中,木质素过氧化物酶的活力在第9d达到最大值,为28.3U/g。锰过氧化物酶的活力在第8d达到最大值,为12.6U/g。说明该这三种菌株能产生较高活力的木质素过氧化物酶、锰过氧化物酶和漆酶,是降解竹材的优良菌株。

表1 白腐菌处理时间对竹材主要组分降解率的影响

处理时间 (天)	木质素降 解率(%)	纤维素降 解率(%)	半纤维素 降解率(%)	干物质 损失(%)
0	0	0	0	0
10	40	25.2	4.3	3.2
20	42.7	27.5	6.2	6.9
30	49.8	30	9.8	11.2

而在用其他装置用白腐菌对竹材发酵进行降解时得出的一组数据是:

表2 白腐菌处理时间对竹材主要组分降解率的影响

处理时间 (天)	木质素降 解率(%)	纤维素降 解率(%)	半纤维素 降解率(%)	干物质 损失(%)
0	0	0	0	0
10	20	22.2	3.3	2.2
20	32.7	26.5	6.2	4.9

---

30	34.8	21.5	7.8	9.6
----	------	------	-----	-----

---

从表1和表2的对比可以看出，应用此装置对造纸原料进行发酵，高效降解木质素方面有很大的改进，木质素降解率明显高于利用以前的固体发酵装置效果，同样的纤维素降解率更低，这正是造纸生产中最需要的理想效果，即高效降解木质素，更低的降解纤维素，以确保造纸原料的节省和充分利用。对木质素的高效降解可以减轻造纸工业中利用强碱对木质素降解的化学污染进而造成的废水污染。这对环保方面的作用非常明显。

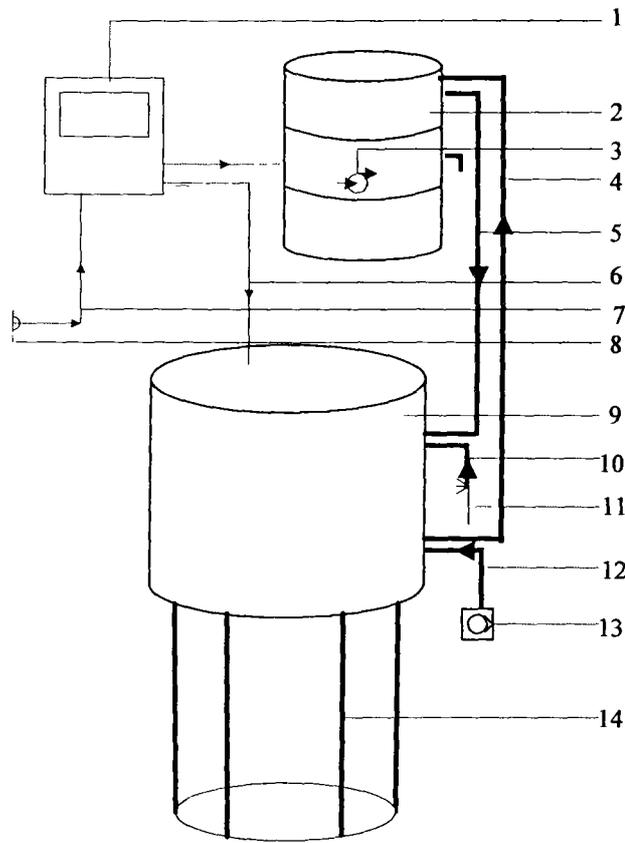


图 1

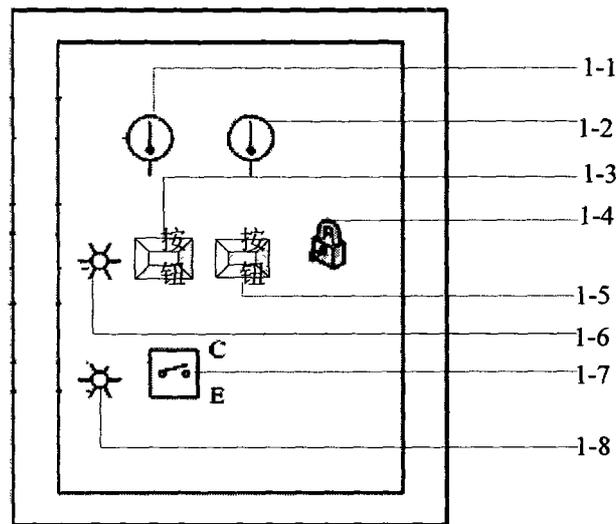


图 2

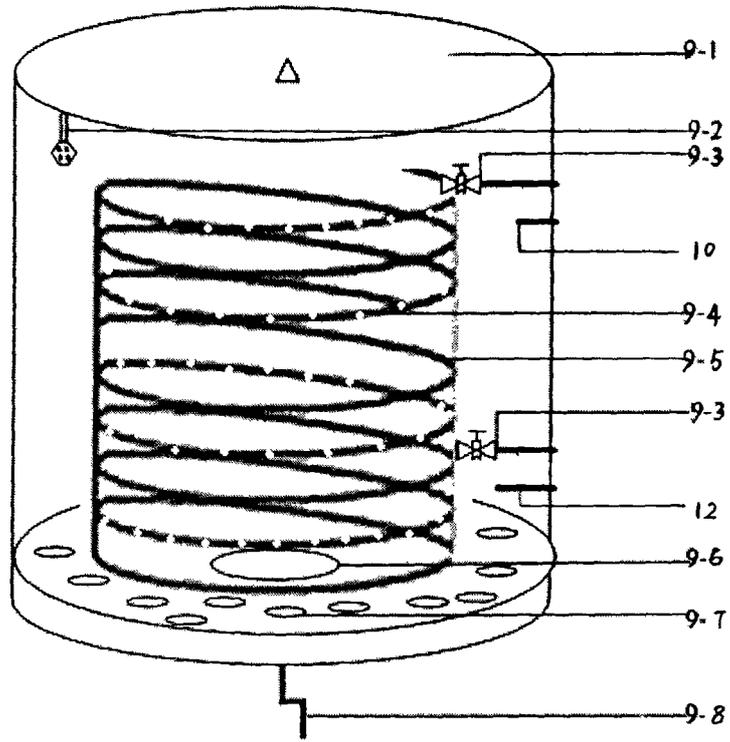


图 3

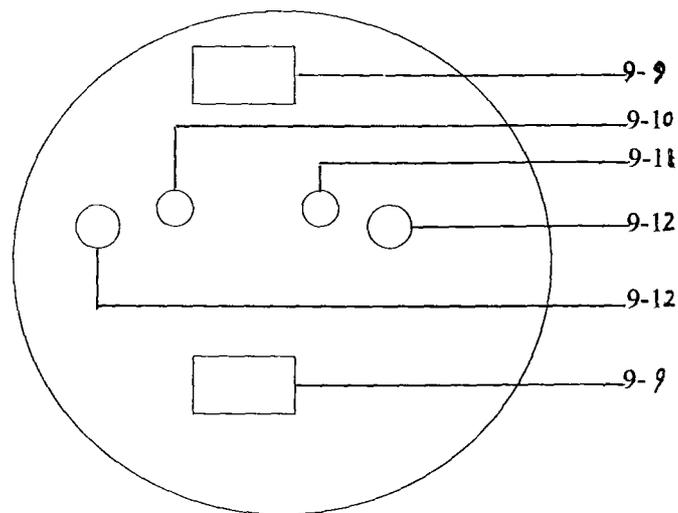


图 4

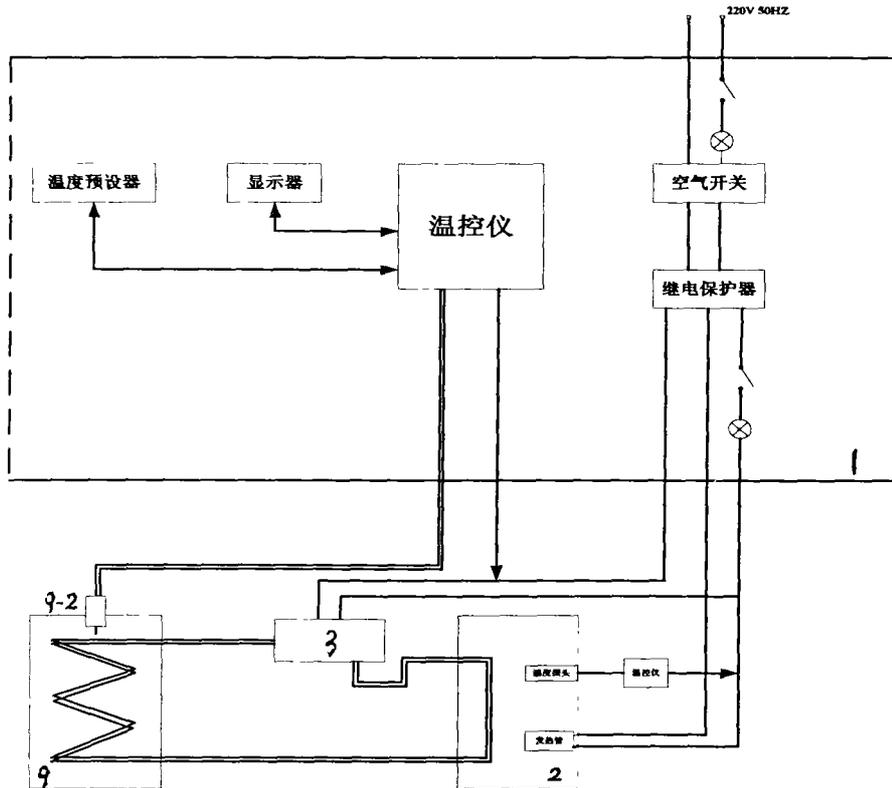


图 5