

双环流厌氧反应器研究及其在酒精发酵中的应用

刘龙飞¹, 徐同猛², 马晓建³

(1.常熟理工学院化学与材料工程系, 江苏 常熟 215500 2.浙江巨化股份有限公司氟聚厂, 浙江 衢州 324004 3.郑州大学化工学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 双环流厌氧反应器外环流流量在 200~1000 L/h 范围内时, 环隙广义雷诺准数随外环流流量的增大呈幂函数增长。用双环流厌氧反应器进行酒精发酵实验, 结果表明, 发酵周期短, 发酵终了时醪液酒度最高, 可明显提高酒精发酵效率。(孙悟)

关键词: 双环流厌氧反应器; 酒精发酵; 研究应用

中图分类号: TS262.2; TS261.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-9286 (2005) 11-0055-03

Study on Double-loop Anaerobic Reactor & Its Application in Alcohol Fermentation

LIU Long-fei¹, XU Tong-meng² and MA Xiao-jian³

(1. Department of Chemical and Material Engineering, Changshu Institute of Technology, Changshu, Jiangsu 215500;

2. Fluorine Polymerization Plant of Juhua Group Co., Quzhou, Zhejiang 324004; 3. College

of Chemical Engineering of Zhengzhou University, Zhengzhou, He'nan 450002, China)

Abstract: The outer-loop flow capacity of double-loop anaerobic reactor is between 200-1000 L/h. The Reynolds number increased by means of power function with the increase of outer-loop flow capacity. The application of double-loop anaerobic reactor in the experiments of alcohol fermentation showed that the fermentation cycle was shortened and the alcoholicity of mash liquid reached the highest at the end of the fermentation and the fermentation efficiency increased evidently. (Tran. by YUE Yang)

Key words: double-loop anaerobic reactor; alcohol fermentation; research and application

环流反应器在厌氧发酵领域的发展较缓慢, 目前在厌氧发酵过程普遍采用静态床反应器, 其醪液流动性差、易沉淀、容易造成发酵不彻底; 另外, 底物和产物浓度不均匀, 对像酒精发酵这样存在产物抑制的发酵过程, 局部产物浓度过高会造成酵母细胞过早衰老。传统厌氧发酵罐, 当容积负荷大时, 罐内冷却方式的传热效率很低, 尤其在气温高的天气, 由于室温和冷却水温度高, 难于维持最适发酵温度^[1,2]。因此, 为了适应生化反应器向厌氧发酵领域发展的需要, 我们在内环流反应器和外环流反应器的基础上提出了既有内环流系统又有外环流系统的双环流厌氧反应器。

1 反应器的基本结构和工作原理

该双环流厌氧反应器为不锈钢材料制成, 结构见图

1。反应器外筒高 140 cm, 外筒内径 32 cm, 内筒高 100

cm, 内筒外径 20 cm, 竖直插管管径 22 mm, 插管底端距锥形封头顶端 30 mm, 筒体中部水平接管管径 22 mm, 管口距反应器轴心 50 mm。其主要特点是依靠泵提供动力强制形成料液外环流, 同时经导流筒导流形成料液内环流。如图 1 中箭头方向所示, 外环流系统从水平接管开始, 流经泵后回到筒顶的竖直插管; 内环流系统流经两条路线, 一条是从竖直插管底端向上流经内筒内侧回到中部水平接管处, 另一条则从内筒外侧向上流到水平接管处或流经内筒顶部, 从内筒内侧向下流回水平接管处。竖直插管插入筒体底部, 泵的喷射作用能有效防止料液沉淀, 料液的有序循环流动使反应器内部传质传热得到加强。

2 流体力学研究 (见图 2)

以水为工作介质做冷膜试验测得不同外环流流量

基金项目: 河南省重点科技攻关项目 (0323023000)。

收稿日期: 2005-07-20

作者简介: 刘龙飞 (1978-), 男, 江西龙南人, 常熟理工学院讲师, 工学硕士。

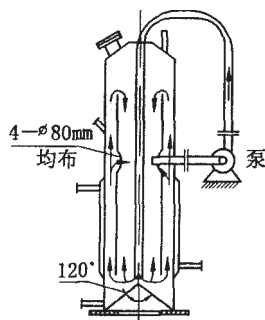
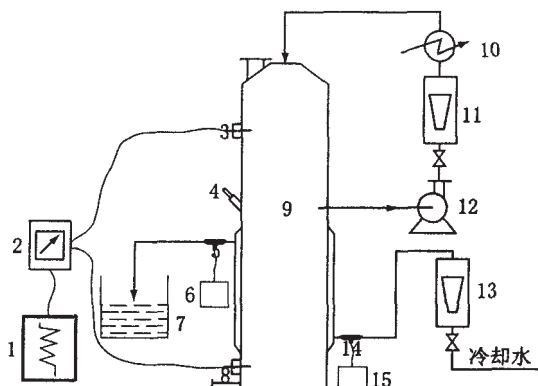


图 1 双环流厌氧反应器结构简图



1-记录仪 2-电导仪 3-电导电极 4-温度计 5-热电偶
6-数显仪 7-水槽 8-电导电极 9-双环流厌氧反应器
10-加热器 11-流量计 12-循环泵 13-流量计 14-热电偶
15-数显仪

图 2 流体力学实验流程

下对应的内环流速,实验过程采用脉冲示波法测算内环流速。实验装置和流程见图 2。根据内环流速 u 可计算出反应器内外筒之间环隙的广义雷诺准数 Re_N :

$$Re_N = \frac{\rho u d_e}{\mu} \quad (1)$$

式中 d_e 称为当量直径;

$$d_e = \frac{4 \times \text{流道截面积}}{\text{浸润周边}} \quad (2)$$

由于实验过程中工作介质维持在 18~22℃,所以 ρ 近似取 20℃水的密度 998.2 kg/m³, μ 近似取 20℃时水的动力粘度 1.004×10⁻³ Pa·s。

对实验数据进行回归,可得 20℃时环隙广义雷诺准数随外环流量变化的关系,见图 3。从图 3 中可以看出随外环流量增大,广义雷诺准数也增大;且外环流量越大,拟合曲线的斜率就越大,即 $\frac{dRe_N}{dV_{out}}$ 随外环流量增大而增大。

20℃时环隙广义雷诺准数与外环流量的关系式为:

$$Re_N = 0.005V_{out}^2 - 2.0145V_{out} + 2792.5 \quad (3)$$

相关系数 R^2 为 0.9745。

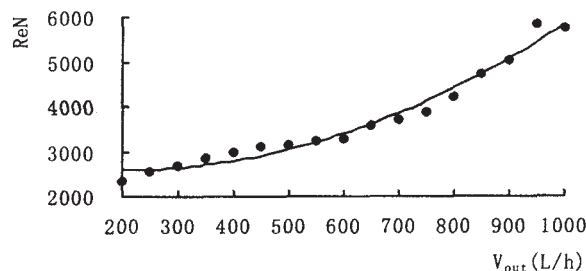


图 3 环隙广义雷诺准数与外环流量的关系

3 双环流厌氧反应器应用于酒精发酵

在淀粉质原料发酵生产酒精的过程中,水解生成的葡萄糖以浓度差为推动力不断向细胞表面扩散,通过细胞膜渗透到细胞内部,经由 EMP 途径生成产品酒精和副产物 CO₂。酒精和 CO₂ 又必须以扩散传质的方式向发酵液主流扩散。在发酵开始的短时间内,发酵液中溶解的 CO₂ 达到饱和,后续生成的 CO₂ 以气泡形式依附在细胞表面,阻碍了酒精通过细胞附近的滞流层向发酵液主流的扩散和葡萄糖向细胞的扩散,必然在细胞表面形成一个高酒精浓度区域,加速了细胞的衰老,也必然使糖化酶作用底物类似物长时间维持一个较高浓度,抑制了糖化酶的活性^[3,4]。

因此,在发酵过程中用泵强制发酵液环流,增大液体的湍动,促使 CO₂ 气泡及时脱离细胞表面,加速酒精向发酵液主流的扩散和葡萄糖向细胞的扩散,可延缓细胞的衰老,保持较强的发酵能力,同时减轻了糖化酶的抑制作用^[5,6]。

3.1 强制双环流对清液酒精发酵过程的影响

利用该双环流厌氧反应器进行小麦粉清液酒精发酵实验,采用先洗面后发酵的小麦粉清液酒精发酵工艺,工艺的参数范围(由正交试验获得^[7,8])控制为:洗面料水比 1:3.1, TH-AADY 接种量 0.9%, 0~8 h 温度控制在 32~34℃之间, 8~20 h 温度控制在 38~40℃之间。

实验研究了无环流静态清液酒精发酵过程、8~20 h 发酵液强制双环流的清液酒精发酵过程和全周期强制双环流的清液酒精发酵过程;实验过程中装料系数都在 0.85 以上,外环流量控制在 600 L/h。为便于比较,将 3 次小型发酵试验的备料和发酵结果列入表 1。

表 1 3 次小型试验比较

环流情况	初糖浓度 (%, w/v)	发酵周期 (h)	最高酒度 (%, v/v)	发酵效率 (%)
无环流	22.4	56	12.92	89.08
8~20 h 强制双环流	22.6	56	13.40	91.56
全周期强制双环流	22.5	48	13.76	94.47

从表 1 可以看出,全周期强制发酵液双环流的清液酒精发酵过程发酵周期最短,发酵效率最高。

3.2 发酵醪酒度变化比较

发酵过程发酵醪酒度变化与时间的关系见图4。

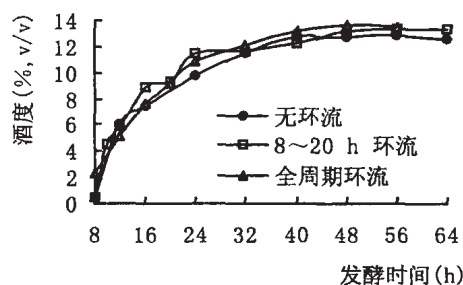


图4 发酵醪酒度变化与时间的关系

从图4可看出,由于无环流清液酒精发酵和全周期强制双环流清液酒精发酵在整个发酵过程中,酵母的生长环境变化不大,酒度的增加幅度比较稳定;而8~20 h强制双环流的发酵过程中酒度增加幅度起伏比较大,这可能是该发酵过程经历了静态→动态→静态的变化。酵母对外界刺激(强制环流)有个适应过程。全周期强制双环流清液酒精发酵过程发酵到8 h,酒度已达2.38% (v/v),说明发酵液的强制双环流刺激酵母细胞较早开始产酒;并且可以看出全周期强制双环流的发酵过程发酵周

期最短,发酵终了时醪液酒度最高;而8~20 h强制双环流清液酒精发酵过程在发酵终了时酒度也明显高于无环流的发酵过程;可见强制发酵液双环流可以提高发酵效率。

参考文献:

- [1] 马晓建,等.生化工程与设备[M].北京:化学工业出版社,1996.
- [2] 梅乐和,姚善泾,等.生化生产工艺学[M].北京:科学出版社,1999.
- [3] (美)R·L·惠斯特勒,等编.王雄文,等译.淀粉的化学及工艺学[M].北京:中国食品工业出版社,1987.
- [4] (美)布林顿·麦·米勒,等编.踞乃玻,等译.工业微生物学[M].北京:轻工业出版社,1986.
- [5] 冯学愚.强制循环发酵液的酒精发酵研究[J].四川轻工业学院学报,1994,7(3):7-10.
- [6] Griffith,Edward J,Toan.Ngo.M.Method to increase anaerobic fermentation rates[J].Biotechnology Advances,1996,14(1):95.
- [7] 贝国全.由正交试验提高酒精生产淀粉转化率[J].酿酒科技,1994,62(2):40-41.
- [8] 刘龙飞,马晓建.小麦粉清夜酒精发酵工艺研究[J].河南教育学院学报(自然科学版),2004,13(4):57-58.

酿酒大曲产业化商品化发展趋势研讨会在泸州举行



《酿酒科技》黄平总编在会上发言

本刊讯:由中国酿酒工业协会主办,泸州老窖股份有限公司承办的酿酒大曲产业化商品化发展趋势研讨会于2005年10月22日在泸州老窖隆重举行。中国酿酒工业协会王琦秘书长主持了开幕式,泸州老窖股份有限公司谢明董事长致欢迎词。

此次大会得到国家及四川省各有关部门的重视,受到了行业及媒体的广泛关注。四川省工商局、泸州市工商局、泸州市商检局的领导,中国酿酒工业协会、国家标准样品技术委员会酒类标准分会、四川省食品工业协会、四川大学食品发酵研究院、四川酿酒协会、中科院成都生物研究所、辽宁省食品工业研究所等行业协会、科研机构的领导、专家、学者,以及贵州茅台股份有限公司、宜宾五粮液集团、四川剑南春集团、四川全兴集团等全国各地百余家名酒企业的嘉宾代表出席了大会。《酿酒科技》、《酿酒》、《新浪网》等多家新闻媒体进行了报道。

大会以“酿酒大曲产业化、商品化发展趋势”为主题,旨在加强专业化制曲技术协作,共享酿酒稀缺资源,营造酿酒企业多赢合作局面,推动中国固态法白酒酿造业的健康发展,为行业构建一个高质量、高水平的交流平台,是制曲行业的一次盛会。与会代表100多人共同就酿酒大曲产业化、商品化发展趋势作广泛而深入的研讨,并进行了学术交流。学术交流由中国酿酒工业协会白酒分会赵建华秘书长主持。会上,辽宁省食品工业研究所刘洪晃高工,中国食品发酵研究院标准委员会郭新光、《酿酒科技》黄平总编、四川剑南春集团徐占成高工(总工)、四川水稻研究院唐玉明研究员、泸州老窖股份有限公司应鸿、许德富等作了交流发言。山东梁山舒月制曲有限公司总经理徐舒月、内蒙古河套酒业集团、四川八百寿酒业公司、泸州泰斗酒厂等作了发言。会议期间,召开了部分企业和专家座谈会。贵州茅台酒股份有限公司、宜宾五粮液集团、剑南春集团、泸州老窖股份有限公司等数十家名酒企业代表、沈怡方、梁邦昌、高景炎、高月明、栗永清、刘洪晃、庄名扬、徐占成等全国白酒行业著名专家以及中国酿酒工业协会王延才理事长、王琦秘书长、赵建华秘书长等出席了座谈会,就大曲产业化商品化发展趋势以及目前国家尚无统一的大曲质量标准现状进行了充分的讨论,呼吁制订标准。

同时大会还进行了“久香”大曲原产地标记授牌仪式。泸州市商检局领导作重要讲话并向泸州老窖股份有限公司董事长谢明授予了“久香”牌泸州老窖系列曲药原产地保护牌。

由行业著名专家组成的大曲鉴评专家组对来自不同地方、不同类型的17种曲药样品进行了感官质量鉴评。来宾们参观了泸州老窖制曲现场,并给予了高度评价。大会完成各项议程,圆满结束。(晓莹)



泸州老窖制曲车间