

大豆低聚糖反渗透浓缩过程的控制

王磊^{1,2}, 邵诚¹, 戴智河³

(¹大连理工大学先进控制技术研究所, 辽宁 大连 116024; ²海南大学信息科学技术学院, 海南 海口 570228; ³中国科学院大连化学物理研究所, 辽宁 大连 116023)

摘要:提出一种利用反渗透(RO)膜技术来批量浓缩豆清废水中大豆低聚糖的新工艺流程。介绍了40T/h浓缩过程的控制要求。设计了仪电一体化的计算机控制系统。控制系统结构采用以工控机(IPC)及触摸屏为操作站, PLC为控制站。PLC采用Siemens的S7-400的CPU及ET 200M远程I/O。MCC的软启动器采用3RW系列。实践证明,该工艺流程及控制系统运行可靠,操作及维护方便,膜系统达到了废水处理同时回收高附加值产品的理想效果,有利于膜技术在环境保护及特种分离领域的推广应用。

关键词:反渗透(RO);大豆低聚糖;批处理;控制系统;膜污染

中图分类号: TQ028

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2009)01-0140-04

Reverse Osmosis Batch Process Control: Recovery of Oligosaccharides from Streamed Soybean Wastewater

WANG Lei^{1,2}, SHAO Cheng¹, DAI Zhi-he³

(¹Institute of Advanced Control Technology, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning; ²College of Information Science and Technology, Hainan University, Haikou 570288, Hainan; ³Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023, Liaoning, China)

Abstract: A novel reverse osmosis (RO) batch process for recovery of oligosaccharides from streamed soybean wastewater was investigated. Technical flow and control requirements for 40T/h reverse osmosis (RO) concentration process were introduced. One process control system was designed. The control system was integrated by industrial personal computer (IPC) as operation station, Siemens S7-400 PLC and ET 200M remote I/Os as control station. Motor control centers (MCC) were driven by 3RW soft-starters. It was proved that the design could meet the technical requirements with reliability and efficiency in operation and maintenance. The ideal recovery of oligosaccharides from streamed wastewater could prompt membrane technology to apply in environment protection and other special separation processes.

Key words: Reverse osmosis (RO); Soy oligosaccharide; Batch process; Control system; Membrane fouling

多年来人们一直在探索将膜技术应用于污水处理,但一个突出的问题就是膜表面截留沉积的污染物会造成膜性能的衰减^[1]。以往被当作废物排放掉的大豆废水,可以利用膜分离技术从中提取出大豆低聚糖,为食品及保健品行业提供重要原料,关键问题也在于膜污染的解决。除了要对原料液进行预处理,首先选择了抗污染反渗透膜,同时设计了用三套20T/h膜装置分时清洗策略来实现40T/h的连续处理量,这就对控制系统提出了较高的要求。本研究基于全集成思想,面向整个浓缩过程设计了一套集中显示操作的仪电一体化的计算机控制系统,使整套装置的运行效率大大提高。

采用膜分离集成技术,可以对大豆蛋白生产过程中的乳清废水进行多级分离处理,同时提取回收其中具有较高经济价值的生物活性物质大豆低聚糖,而最终的出水仍可回用于工艺用水,基本可实现零排放^[2]。采用反渗透处理豆清废水技术,不仅可解决困扰大豆分离蛋白企业多年的环境污染难题,还可回收高附加值的营养保健品,具有极高的经济效益和社会效益。这一研究成果不仅应用于大豆乳清废水的资源化处理,也可以推广到食品加工、医药、化工和环保领域中的分离、提纯、浓缩等过程的清洁生产工艺或废水资源化处理。

收稿日期:2008-09-11

基金项目:国家“十五”科技攻关计划资助项目(2001BA204B01);辽宁省先进控制技术实验室资助项目。

作者简介:王磊(1966-),男,博士,教授,研究方向为绿色过程与优化控制。E-mail: wanglei0520@126.com。

1 工艺流程及控制要求

如图 1 所示,来自超滤的原料液(2X20T/h)经检测合格(浊度 < 1NTU),则允许进入原料罐(20T);当液位达 60% 时,顺序启动预压泵(18.5 kW)和高压泵(22 kW),浓缩液回流原料罐,并通过

浓缩调节阀调节操作压力,透过液至水洗罐或碱洗罐,并使流量与原料液流量保持平衡;当糖度由 1Brix 至 4Brix 时,停止进料,根据糖度升高,逐步升高操作压力;当糖度达 8Brix 时,停止浓缩,开始排料;排料结束后,开始对浓缩路线水洗,如果膜污染严重,还需进行碱洗,然后准备下一批料处理。

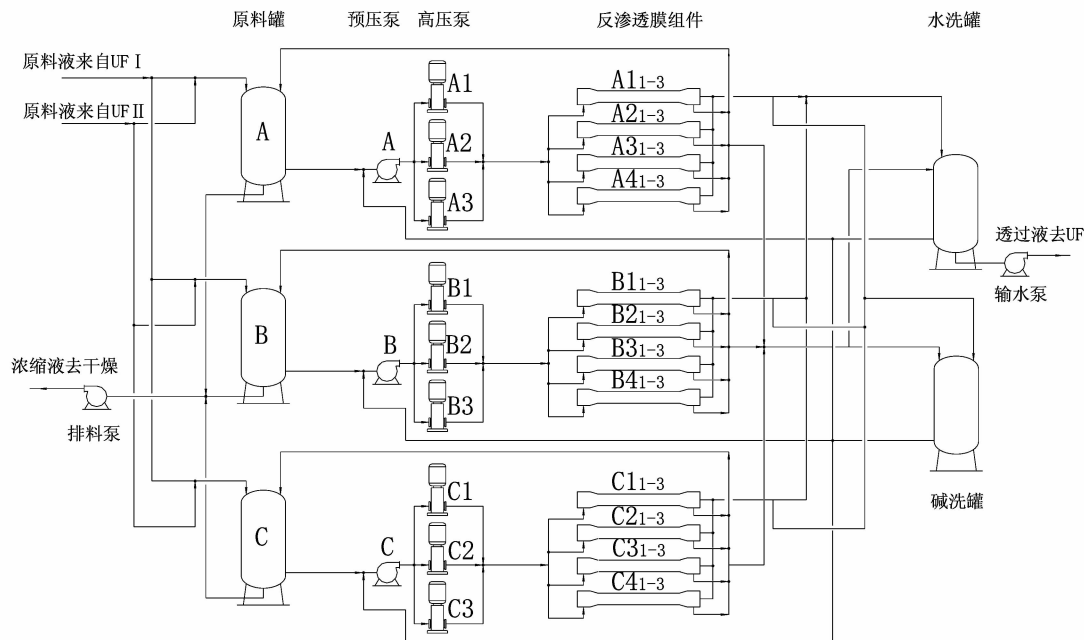


图 1 大豆低聚糖反渗透浓缩过程的工艺流程

Fig. 1 Flow diagram of soy oligosaccharides RO condensation process

装置运行过程中,需要实时地在线监视温度、压力、流量、液位、浊度、糖度及 pH 值等各种工艺参数,以保证及时显示和处理^[3]。装置运行过程中,需要根据生产要求反复进行许多开关阀门和启停泵站的相关操作。这些操作如果由操作工在现场频繁操纵,一方面会增加劳动强度,另一方面复杂的操作容易引起误操作,从而给膜带来损害。表 1 给出了大豆低聚糖反渗透浓缩装置集中控制的 I/O 点数。

表 1 大豆低聚糖反渗透浓缩装置的 I/O 点数

Table 1 Inputs and outputs of soy oligosaccharides RO condensation units

AI (4-20 mA)	AO (4-20 mA)	DI (24 VDC)	DO (24 VDC)	PID
31	4	113	55	4

2 控制系统设计

2.1 系统结构

反渗透浓缩装置的控制系統分电控和仪控两部

分。电控系統主要是实现对装置的泵站进行控制电气回路^[4],仪控系统主要是实现对装置的仪表信号的检测及阀门的控制。采用仪电一体化思想,将所有信号由 PLC 集中采集、处理,并通过 IPC 在控制室集中监督和控制^[5],同时操作员还可通过安装在现场的触摸屏方便进行操作。

控制系统的结构如图 2 所示。

2.2 控制功能

2.2.1 数据采集 所有仪表及调节阀位置反馈均通过 4~20mA 信号输出至 ET 200M 的模拟量输入(AI)模块 SM 331,调节阀由模拟量输出(AO)模块 SM 332 控制。电动阀位置反馈由 ET 200M 的开关量输入(DI)模块 SM 321 采集,同时由 ET 200M 的开关量输出(DO)模块 SM 322 控制。

所有泵站均通过电控柜内的软启动(Siemens 3RW)控制,信号连接通过 ET 200M 的开关量(DI/DO)模块进行。

2.2.2 自动调节 在预浓缩过程中,液位的定值自动调节:即通过浓缩回流调节阀调节操作压力使进

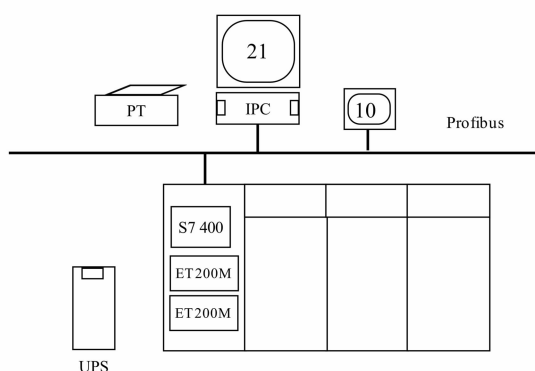


图2 控制系统的结构

Fig. 2 Configuration of the control system

料流量和透过流量平衡;在浓缩过程中,压力的随动自动调节;即通过浓缩回流调节阀根据糖度的升高而相应提高操作压力。

自动调节功能在 S7 400 的 CPU (414-2DP) 中实现,操作人员可方便地进行手动或自动选择操作,PID 参数可通过操作站由调试人员在线整定。

2.3 逻辑功能

浓缩过程对时间要求比较严格,对自控要求比较苛刻,需要准确的逻辑判断来实现^[7]。

进料逻辑:来自超滤的料液,经浊度检测,达标则进入料罐,反之则排放。

预浓缩逻辑:当经检测的料液达到一定液位后,首先启动预压泵 A,3 ~ 5 min 后顺序启动高压泵,中间间隔时间不少于 3 min,高压泵全部启动 3 min 后,开始调节浓缩调节阀至给定操作压力值,同时检测透过液流量,使其与来料流量相等,即最终通过流量对操作压力进行微调。

浓缩逻辑:当浓缩循环液的糖度达到一定值 (4Brix) 时,原料罐 A 停止进料,原料罐 B 开始进料,A 循环装置进入浓缩过程,此时,浓缩调节阀重新调整操作压力,根据糖度的升高,逐步升高操作压力 (不超过上限值),此时,浓缩液回流到原料罐,透过液流到清洗罐。

排料逻辑:当原料浓度达到最终值时 (8Brix),运行停止,高压泵的停止与启动正好相反,在最后一台高压泵停止 3 min 后,预压泵停止运行。所有泵停止后,启动排料泵,向下段工艺送料,排空原料罐后,停排料泵,装置 A 进入清洗状态。

水洗逻辑:装置进入清洗状态最初阶段,清洗循环阀处于关闭状态,首先打开清洗水泵前手动阀门,再按下清洗按钮,清洗循环液首先回流到原料罐中,

约 1 ~ 3 min 后,切换阀门,打开清洗循环阀,15 s (根据阀门开关时间设定) 后关闭浓缩液循环阀,设备进入清洗循环状态,水清洗时间约 15 ~ 20 min。

评价逻辑:水清洗结束后,在 1.0 MPa 下检测水通量,达到初始值 90% 以上则清洗阶段结束,关闭水洗进水阀 (手动阀),切换到操作状态,准备下一次操作;反之,则进入碱洗阶段。

碱洗逻辑:关闭水洗进水阀,打开碱洗进料阀,将清洗循环阀切换到碱洗循环状态,启动碱洗泵,开始碱洗,时间约 15 ~ 20 min,碱洗结束后,进入清水置换阶段。

备好逻辑:完成上述操作后,装置切换到操作状态,准备下一次操作。

2.4 联锁保护

基于 BW30-365FR (美国陶氏 FilmTec 产品) 抗污染膜的运行极限值,联锁条件:

表2 联锁保护表

Table 2 Overview of interlocks

条件 Conditions	限值 Limit value	结果 Results
进料浊度 Feed turbidity	> 1 NTU	原料液将被排放 Feed liquid will be discharged
系统温度 Operating temperature	> 45 °C	装置将报警并联锁停车 RO device will alarm and shut down
操作压力 Operating pressure	> 2.5 MPa	装置将报警并联锁停车 RO device will alarm and shut down

2.5 操作监视

集中的显示操作画面使操作人员能够快速清晰地了解整套装置的运行情况^[9],并进行相应的操作。控制室主操作站 (IPC + 21" CRT) 的画面包括:主流程画面、操作状态画面、重要参数画面、泵站画面、阀门画面、棒图画面、调整画面、曲线画面及报警画面。另外,重要参数可定时或随机请求报表打印。现场的 10" 触摸屏 (TP 27) 可作为备用的操作方式。

3 结果与讨论

3.1 控制过程

装置正式使用前,首先用去离子水测试装置 A、B、C 在 1.0 MPa 下的初始水通量并记录下来,作为清洗恢复参数。

装置运行过程中,每套装置的运行状态如图 3 所示。

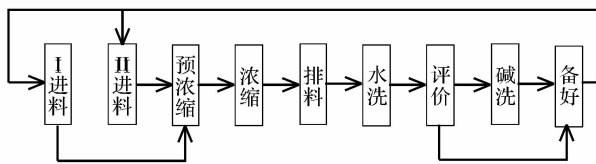


图3 大豆低聚糖反渗透浓缩过程的运行状态

Fig. 3 Operation states of each RO condensation unit

如图4所示,三套装置,循环工作:第一套浓缩,第二套纯浓缩,第三套清洗。清洗后,自动或操作员手动选择进入备用状态。工作与备用由操作员在操作站上选择。

作站上选择。

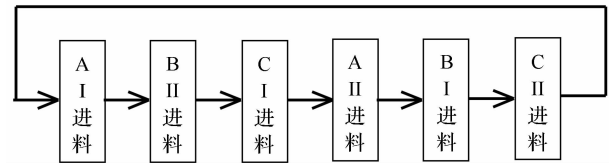


图4 每套装置的开始顺序

Fig. 4 Sequence batch of each RO condensation process

3.2 重要的参数

目标操作压力与原料液糖度的关系如图5。

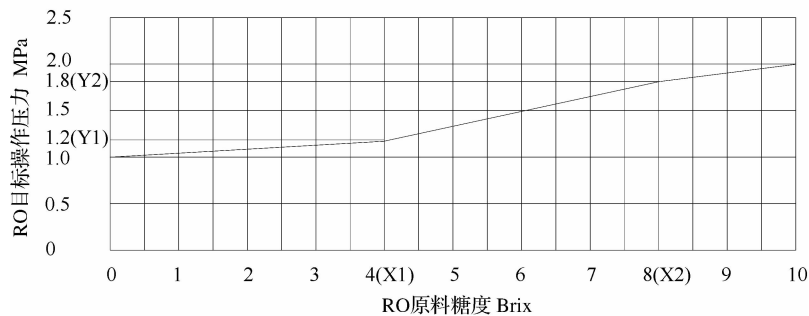


图5 目标操作压力与原料液糖度的关系

Fig. 5 Function of operation pressure with feed sugar concentration

$Y = X1 + kX$, 其中 Y 为目标操作压力, X 为原料液糖度, $X1$ 为浓缩开始糖度, $Y1$ 为浓缩开始压力, $X2$ 为浓缩结束糖度, $Y2$ 为浓缩结束压力, $k = (Y2 - Y1) / (X2 - X1)$ 为浓缩斜率。

4 结论

采用膜技术回收豆清废水的大豆低聚糖,同时解决了大豆蛋白厂的环境污染问题,具有显著的经济效益和社会效益。膜分离装置的控制系統对膜分离过程安全、稳定地运行起着非常重要的作用^[8],因此,控制技术也是膜分离装置的核心技术之一,膜技术与控制技术的融合,对提升膜技术公司的核心竞争能力也同样具有核心价值。研究目的是将根据膜分离装置的工艺特点、用户的不同需求、以及控制系统本身的发展,设计出一套全集成仪电一体化的控制系统,从而使膜分离装置的运行得以优化。

参考文献

[1] 孟凡刚,张捍民,于连生,等. 活性污泥性质对短期膜污染影响的解析分析[J]. 环境科学,2006,27(7):1348-1352. (Meng F G,Zhang H M,Yang F L,et al. Effect of activated sludge properties on short-term membrane fouling in submerged membrane bioreactor based on statistical analysis[J]. Environmental Science,2006,27(7):1348-1352.)

[2] Matsubara Y,Iwasaki K,Nakajims M,et al. Recovery of oligosaccha-

rides from steamed soybean waste water in tofu processing by reverse osmosis and nanofiltration membranes[J]. Bioscience Biotech Biochemistry,1996,60(3):421-428.

[3] 姚益江,王建新,杨继红,等. ControlLogix 在高炉喷煤中的应用[J]. 中国仪器仪表,2003,6:30-32. (Yao Y J,Wang J X,Yang J H,et al. Application of Controllogix in puff coal of BF[J]. China Instrumentation,2003,6:30-32.)

[4] 郭宏,于凯平. 电机控制中心综述[J]. 电气传动,2006,36(3):8-10. (Guo H,Yu K P. Review of motor control center [J]. Electric Drive,2006,36(3):8-10.)

[5] 王志国,许晓鸣,杜国平. PLC 组网技术及其在集散控制系统中的应用研究[J]. 测控技术,2001,20(6):29-31,33. (Wang Z G,Xu X M,Du G P. Study on network technique of PLC and its application in DCS [J]. Measurement & Control Technology,2001,20(6):29-31,33.)

[6] 丁元欣,张宇明,鲍立威,等. 集散网络结构的 PLC 控制系统在生活饮用水深度处理中的应用[J]. 化工自动化及仪表,2000,27(2):44-46. (Ding Y X,Zhang Y M,Bao L W,et al. Application of PLC control system with distributed network in deep processing of drinking water[J]. Control and Instruments in Chemical Industry,2000,27(2):44-46.)

[7] 崔光亮,冯正进,苏纯. 基于 Profibus 的 SBR 工艺污水处理自动控制系统[J]. 给水排水,2003,29(11):84-87. (Cui G L,Feng Z J,Su C. Profibus-based control system for SBR wastewater treatment [J]. Water & Wastewater Engineering,2003,29(11):84-87.)

[8] 李界家,吴成东,于丰,等. 计算机控制系统发展及评价[J]. 仪表技术与传感器,2002,5:24-26. (Li J J,Wu C D,Yu F,et al. Development and appraisalment of computer control system [J]. Instrument Technique and Sensor,2003,29(11):84-87.)