

离心清液回配数学模型建立的探讨

姜树宽, 吴立军, 刘 霄, 王伟科, 钱世凯

吉林燃料乙醇有限公司, 吉林 吉林 132021)

摘 要: 通过对酒精生产水平衡系统的分析, 建立了数学模型。该数学模型可预测离心清液某物质浓度的变化, 可根据生产实际确定最佳回配周期、排放周期, 达到节水、节能, 减少环境污染的目的。

关键词: 酒精; 离心清液; 数学模型; 回配周期

中图分类号: TS262.2 ; TS261.4 ; O242 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-9286 (2005)11-0058-03

Investigation on the Establishment of Centrifugal Clear Liquid Reflux Mathematical Model

JIANG Shu-kuan, WU Li-jun, LIU Xiao, WANG Wei-ke and QIAN Shi-kai

(Jilin Fuel Alcohol Co. Ltd., Jilin, Jilin 132021, China)

Abstract: Through the analysis of water equilibrium system in alcohol production, the centrifugal clear liquid reflux mathematical model was established. Such model could forecast concentration changes of the substances in centrifugal clear liquid. Besides, the optimal reflux cycle and drainage cycle could be determined according to practical production by the model, which could achieve the aim of saving water and energy and reducing environmental pollution. (Tran. by YUE Yang)

Key words: alcohol; centrifugal clear liquid; mathematical model; reflux cycle

以谷物为原料生产乙醇, 无论采用什么工艺路线都产生大量离心清液。其中, 大部分工厂采用部分回配、部分去污水厂处理工艺路线; 少部分工厂采用部分蒸发、部分回配工艺路线; 极少工厂采用全蒸发或全回配工艺。蒸发是指离心清液经蒸发, 浓缩液去干燥机, 蒸发冷凝液去污水厂处理。回配是指离心清液返回生产系统, 作为前部工序用水、用热的补充。据有关资料报道和工厂实际来看, 酒糟离心清液的部分回用是切实可行的^[1]。

部分回配、部分去污水厂处理工艺路线投资较少, 但损失大量可溶或不可溶饲料成分, 综合效益差。部分蒸发、部分回配工艺路线投资较多, 可提高饲料收率, 提升饲料品质, 综合效益好, 属清洁生产工艺。全蒸发工艺路线投资大, 作为只有边际利润的乙醇企业来说, 是奢侈的投资。全回配工艺将造成大量有害物质积累, 经常不得不排掉部分离心清液, 以降低有害物质的含量, 很少采用。

近年来, 随着乙醇生产工艺的进步, 特别是环保要求的日益严格, 使国内许多酒精厂纷纷采用清洁生产工

艺。那么如何确立最佳蒸发、回配比例, 确立最佳的回配周期及工艺指标, 成为酒精行业亟待解决的问题。本文对上述问题进行了探索并建立了数学模型, 期望对解决问题有所帮助。

1 水平衡方程的建立

在乙醇生产中, 水既是介质, 又是原料。没有水就无法实现液态化连续发酵, 也无法实现连续蒸馏和精馏, 因此乙醇生产的物料衡算过程其实就是水平衡过程, 水平衡了, 生产就稳定了。

在日常生产中, 进料量始终处于小幅变化状态, 因此在制量也随之波动, 为计算方便, 我们假设系统在制量不变, 这样可剔除很多不必要的变量, 使计算简化。

为维持生产的正常进行, 系统需不断补入水, 包括新鲜工艺水、原料带入水、辅料带入水和直接蒸汽冷凝水。也需排出水, 包括去蒸发 (或污水厂) 的离心清液、产品带出水、跑冒滴漏损失水和 CO_2 夹带水等。故如下关系式成立:

收稿日期 2005-10-08

作者简介 姜树宽 (1962-), 男, 工程硕士, 高级工程师, 厂长, 发表学术论文多篇。

$$W_1 + S + M + E + N + Y = B + L + A + F \quad (1)$$

式中 W_1 ——新鲜工艺水量, m^3/h ;

S ——清液回配量, m^3/h ;

M ——原料带入水量, m^3/h ;

E ——辅料带入水量, m^3/h ;

N ——闪蒸汽冷凝水量, m^3/h ;

Y ——塔底余馏水量, m^3/h ;

B ——去蒸发 (或污水厂) 的离心清液, m^3/h ;

L ——跑冒滴漏水量, m^3/h ;

A ——湿糟含水量, m^3/h ;

F —— CO_2 夹带水量, m^3/h 。

为计算方便, 将原料带入水、辅料带入水、闪蒸汽冷凝水、塔底余馏水全部视为新鲜工艺水量, 用 W 表示; CO_2 夹带水量和跑冒滴漏水量可忽略不计, 则 (1) 式变为:

$$W + S = B + A \quad (2)$$

随着生产的持续进行, 原料中的不可发酵性物质和回配清液中的不可发酵性物质将源源不断进入离心清液系统。由于系统中没有其他物质的流入和流出, 那么就可以对不受加热沉淀、生化反应影响的不可发酵性物质进行衡算。需要说明的是: 单位原料带入系统的不可发酵性物质是定值, 但相同工艺不同原料或相同原料不同工艺的数值会有变化。为简化计算, 把从投料初期到生产稳定时的不可发酵性物质浓度 c_1 作为补入新鲜工艺水, 溶入不可发酵性物质的计算依据。则下式成立:

$$W c_1 + S c = (B + A) c \quad (3)$$

将 (3) 变形为:

$$\frac{W}{B + A - S} = \frac{c}{c_1} \quad (4)$$

式中 c ——离心清液中不可发酵物质的瞬时浓度, mg/L ;

c_1 ——补充新鲜工艺水中不可发酵物质的瞬时浓度, mg/L 。

通过 (4) 式可以看出, 在实际生产中, 只要改变补充的新鲜工艺水量和回配或排出的离心清液量, 就可以改变离心清液中各种物质的浓度, 起到稳定和平衡生产的目的。

2 离心清液中物质浓度的变化 极限浓度的确认

在酒精生产连续运行时, 由于原、辅料不断投入, 离心清液不断回配, 那么系统中不可发酵性糖、脂肪、蛋白、各种离子就会愈来愈浓, 为使系统中这些物质维持在一定浓度, 必须补充一定的新鲜工艺水和蒸发一部分离心清液 (或排掉一部分离心清液), 因此离心清液中各种物质浓度随着时间的推移而变化。其变化规律将根据新鲜工艺水和排出离心清液量的大小而定, 但最终会趋于一个定值^[2]。

设新鲜工艺水带入不可发酵性物质浓度为 c_1 , 而离

心清液中不可发酵性物质的浓度为 c , 由于 c 是随着新鲜工艺水和排出离心清液量的变化而变化, 那么对系统中某物质浓度的瞬时变化可作如下分析:

某物质浓度的瞬时变化量 $= d(Vc)$

式中 V ——系统中水的总容量, m^3 ;

某物质随新鲜工艺水中的加入而引起的瞬时增加量

$= W c_1 dt$;

某物质随部分离心清液回配而引起某物的瞬时增加量

$= S c dt$;

某物质随部分离心清液去蒸发而引起某物的瞬时减少量

$= B c dt$;

湿糟引起某物的瞬时减少量 $= A c dt$ 。

根据物料衡算原理, 系统中某物瞬时变化量应该等于进入系统的瞬时量和排出系统的瞬时量的代数和。即:

$$d(Vc) = W c_1 dt + S c dt - (B + A) c dt \quad (5)$$

$$\left[\frac{W c_1}{V} - \frac{(B + A - S) c}{V} \right] dt = \frac{dc}{V} \quad (6)$$

设系统在 t_0 时, 不可发酵性物质的浓度为 c_0 , 经 t 时间后, 不可发酵性物质的浓度变为 c 。对上式两边同时积分:

$$\begin{aligned} \int_{c_0}^c \frac{dc}{\frac{W c_1}{V} - \frac{(B + A - S) c}{V}} &= \int_{t_0}^t dt \\ \frac{V}{B + A - S} \int_{c_0}^c \frac{dc}{\frac{W c_1}{B + A - S} - c} &= \int_{t_0}^t dt \\ \frac{V}{B + A - S} \int_{c_0}^c \frac{d \left[\frac{W c_1}{B + A - S} - c \right]}{\frac{W c_1}{B + A - S} - c} &= \int_{t_0}^t dt \\ \frac{V}{B + A - S} \left[\ln \left(\frac{W c_1}{B + A - S} - c \right) \right]_{c_0}^c &= [t]_{t_0}^t \end{aligned}$$

经积分整理后得:

$$c = \frac{W c_1}{B + A - S} + \left(\frac{W c_1}{B + A - S} - c_0 \right) e^{-\frac{(B + A - S)}{V}(t - t_0)} \quad (7)$$

此关系式描述了当酒精生产正常进行时, 离心清液中不可发酵性物质浓度的变化规律。

当系统排污量 B 增加, 离心清液中不可发酵性物质浓度 c 减少; 当排污量 B 减少, 离心清液中不可发酵性物质浓度 c 增加。

当系统在减少回配量 (增加排污量) 或直至不回配 (清液全排) 下运转时, 随运转时间的延长, 则 $e^{-\frac{(B + A - S)}{V}(t - t_0)}$ 项的值接近于零。所以 c 对 t 作图, 则不可发酵性物质浓度的变化由起始浓度 c 逐渐下降, 并趋向 $\frac{W c_1}{B + A - S}$ 这个

定值,见图 1。反之当系统在增加回配量(减少排污量)或直至全回配(清液不排)下运转时,则某物浓度的变化由起始浓度 c_0 逐渐升高,也是趋向 $\frac{Wc_1}{B+A-S}$ 这个定值,见图 2。

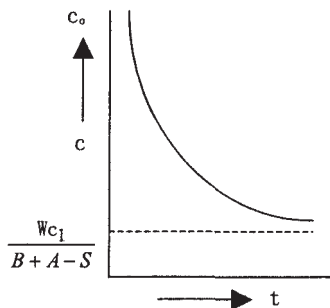


图 1 系统在减少回配量下运转时清液中某物浓度的变化曲线

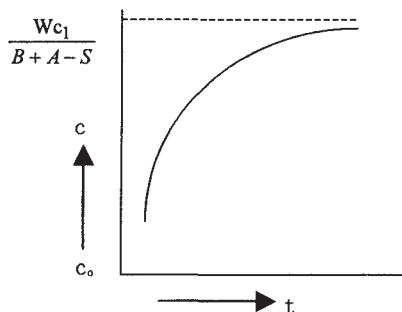


图 2 系统在增加回配量下运转时清液中某物浓度的变化曲线

从图 1 和图 2 可知,不论系统中某物的初始浓度是多少,随着时间的推移,最终的浓度总是趋于一个定值。

3 回用周期的分析

随着生产的持续进行,离心清液回配数量的增加,系统不可发酵性物质含量会逐渐增多,为使生产能正常进行,防止不可发酵性物质影响生产,确定最佳回配周期显得尤为必要。据文献报道^[3],当滤液回用使蒸煮醪中固形物含量超过 4.5 % 时,就开始对酒精发酵产生不良影响。从 (1) 式可知,当离心清液中某物的瞬时浓度确定后,立即可求出允许的最佳回配周期 Δt 。

$$\Delta t = t - t_0 = \frac{V}{B+A-S} \ln \frac{c - \frac{Wc_1}{B+A-S}}{c_0 - \frac{Wc_1}{B+A-S}} \quad (8)$$

通过 (8) 式也可以计算当某物质达到极限浓度时排放到规定浓度所需的时间。

4 回配量的确定

通过生产实际,结合相关文献报道,我们可以预先

给定某物的最高控制浓度,根据式 (4) 就可以很方便计算出回配量,用其指导生产。

$$S = (B+A) - W \frac{c}{c_1} \quad (9)$$

5 应用举例

某大型酒精厂离心清液回配前不可发酵性糖的浓度 c_1 为 0.2,去蒸发的清液量 B 为 160 m³/h,湿糟含水量 A 为 55 m³/h,清液回配量 S 为 120 m³/h,新鲜工艺水量 W 为 200 m³/h,系统水量 V 为 26000 m³,将上述已知条件代入 (1) 式,则 20 d 后不可发酵性糖的浓度 c 为:

$$\begin{aligned} c &= \frac{180 \times 0.2}{160 + 55 - 120} + \\ &\left(0.2 - \frac{180 \times 0.2}{160 + 55 - 120} \right) e^{-\frac{160 + 55 - 120}{26000} \times 24} \\ &= 0.35 \end{aligned}$$

同样利用 (8)、(9) 式可计算出回配周期、排放周期和回配量。

6 小结

6.1 通过对酒精生产系统水平衡及离心清液某物浓度变化的分析而建立数学模型,揭示了离心清液随着回用次数的增加,清液中不可发酵性物质逐渐增多,当排出的离心清液所带物质与新投原料及清液回配所带物质相等时,系统达到平衡。

6.2 通过生产实践给出某物的最大控制浓度(即发酵的最大上限浓度),用此浓度可计算出离心清液回配量、回配周期和排放周期。

6.3 不同生产装置限于工艺、原辅料差异,初始浓度 c_1 及最大上限控制浓度 c 会不同,因此回用周期、排放周期也会不同。

6.4 该数学模型是结合生产实际进行理论推导而来,应用效果与实际结合较好,对有清液回配的系统具有普遍指导意义。

参考文献:

- [1] 谢林,等.酒精离心液回流工艺的探讨[J].酿酒科技,2001, (6) 81-82.
- [2] 肖冬光,等.酒精废液回用理论的探讨[J].酿酒科技,1999, (6) 76-78.
- [3] 吴金霞.浅谈酒精固液分离及滤液和余馏水循环回用[J].酒精工业,1997, (6) 29-32.

欢迎订阅《酿酒科技》