

# 大林-串级算法在啤酒糖化温度控制中的应用

尚继良,于 瑩,王晓燕

(青岛科技大学自动化与电子工程学院,山东 青岛 266042)

**摘要:** 啤酒生产工艺要求糖化温度要快速跟踪工艺设定曲线且无超调,而该对象具有大惯性滞后,并且过程中蒸汽压力波动较大,常规 PID 算法难以满足这些需求。将大林(Dahlin)算法与串级控制相结合,提出大林-串级(Dahlin-Cascade)控制结构,并加以应用。运行结果表明,该控制方法能够很好地满足工艺要求。而且由于跟踪速度的提高,缩短了温度上升时间,提高了生产效率。

**关键词:** 啤酒; 糖化温度; 大林控制; 串级控制

中图分类号:TS262.5;TS261.4 文献标识码:A 文章编号:1001-9286(2007)04-0080-03

## Application of Dahlin-Cascade Algorithm to Control Beer Saccharification Temperature

SHANG Ji-liang, YU Wei and WANG Xiao-yan

(Auto-Electric Engineering College, Qingdao Sci-Tech University, Qingdao, Shandong 266042 China)

**Abstract:** Beer saccharification temperature should track the set curve fastly without overshoot in beer production. However, the process has great inertia lag and the steam pressure fluctuates sharply, the normal PID algorithm could not meet the requirements. Dahlin algorithm combined with Cascade control (Dahlin-Cascade control) was put forward and used in practice. The application results showed that the use of such method could satisfy the technical demands, shorten the rise time of temperature, and increase the production efficiency because of its fast follow-up tracking capability.

**Key words:** beer; saccharification temperature; Dahlin Control; Cascade control

糖化过程的温度控制影响着麦芽的分解程度,其工艺指标控制的优劣,对啤酒质量的稳定性、口感等指标起着决定性的作用<sup>[1]</sup>。糖化过程是温度分阶段跃升的过程<sup>[2]</sup>。随着温度的升高,依次进行蛋白休止(50℃)、麦芽休止(62~65℃)、糖化休止(73~75℃)和并醪(78℃)。糖化过程是间歇式过程,工艺要求糖化温度必须无超调地快速跟踪工艺设定曲线。目前对糖化温度的控制多采用 PID 控制算法或与 PID 相关的改进的控制算法<sup>[3]</sup>。而糖化锅容积大(大都 50 m<sup>3</sup>以上),温度对象具有较大的惯性滞后,常规 PID 控制,难以取得理想的控制效果。PID 控制作用强,跟踪速度快,但有超调;PID 控制作用弱,响应无超调但跟踪速度慢,抗干扰能力弱,影响生产效率和生产质量<sup>[4]</sup>。尤其是在蛋白休止和并醪阶段,温度控制精度要求在±0.3℃。根据糖化温度控制和大林算法的特点,我们提出了将大林算法应用到该过程中的方案。由于过程中蒸汽压力波动较大,对 Dahlin 算法进行改进,采用大林-串级(Dahlin-Cascade)控制结

构,应用于糖化温度控制,效果较好。

### 1 大林控制算法

大林算法是由美国 IBM 公司的大林 (Danlin)于 1968 年针对工业过程控制中的有纯滞后时间的一阶惯性滞后特性而提出的一种控制算法<sup>[5]</sup>。大林算法的设计目标是设计一个合适的数字控制器,使整个系统的闭环传函数为带有纯滞后时间的一阶惯性环节,即:

$$\ddot{O}(s) = \frac{e^{-\tau}}{T_s s + 1}, \tau = NT, \quad (1)$$

其中,  $T_s$  为采样周期。而控制器可由式(2)求得。

$$G_c(z) = \frac{\ddot{O}(z)}{G_p(z)[1 - \ddot{O}(z)]} \quad (2)$$

可以认为对象与一个零阶保持器相串联,  $\ddot{O}(z)$  相对应的整个闭环系统的脉冲传递函数为:

$$\ddot{O}(z) = Z \left[ \frac{1 - e^{-T_s z}}{s} \times \frac{e^{-NT_s z}}{T_s z + 1} \right] = \frac{z^{-N-1}(1 - e^{-\frac{T_s}{z}})}{1 - e^{-\frac{T_s}{z}} z^{-1}} \quad (3)$$

将式(3)代入式(2)得:

收稿日期:2006-12-27

作者简介:尚继良(1956-),男,山东青岛人,副教授,硕士生导师,从事工业过程建模与控制研究工作。

$$G_c(z) = \frac{1}{G(z)} \times \left[ \frac{z^{-N-1}(1-e^{-T_s T_1})}{1-e^{-T_s T_1} z^{-1} - z^{-N-1}(1-e^{-T_s T_1})} \right] \quad (4)$$

由  $G_c(z)$  式可知, 它与被控对象  $G_p(s)$  有关, 而  $G_p(s)$  可由上述实验测取法求取。则在大林算法控制阶段整个系统的传递函数为:

$$G(z) = Z \left[ \frac{1-e^{-T_s s}}{s} \times \frac{K_p e^{-N T_s}}{T_s + 1} \right] = \frac{K_p z^{-N-1}(1-e^{-T_s T_1})}{1-e^{-T_s T_1} z^{-1}} \quad (5)$$

将式(5)代入式(4)得:

$$G_c(z) = \frac{(1-e^{-T_s T_1})(1-e^{-T_s T_1})}{K_p(1-e^{-T_s T_1})[1-e^{-T_s T_1} z^{-1} - (1-e^{-T_s T_1})z^{-N-1}]} \quad (6)$$

式(6)可简化为:

$$G_c(z) = \frac{a_0 - a_1 z^{-1}}{1 - b_1 z^{-1} - b_2 z^{-N-1}} \quad (7)$$

$$\text{其中, } a_0 = \frac{1-e^{-T_s T_1}}{K_p(1-e^{-T_s T_1})}, a_1 = \frac{e^{-T_s T_1} - e^{-(T_s T_1) - (T_s T_1)}}{K_p(1-e^{-T_s T_1})}, b_1 = e^{-T_s T_1},$$

$$b_2 = 1 - e^{-T_s T_1}$$

根据  $G_c(z) = U(z)/E(z)$  得出差分方程:

$$u(k) = b_1 u(k-1) + b_2 u(k-N-1) + a_0 e(k) - a_1 e(k-1) \quad (8)$$

其中,  $u(k)$  为数字控制器输出,  $e(k)$  为偏差信号。

若控制器  $G_c(z)$  中存在这样一个极点, 虽然在单位圆内的稳定极点, 但在根平面的左半部, 此极点会使控制器  $G_c(z)$  的阶跃响应呈跳动的形式, 所以必须消除这种“跳动极点”。因此, 需在含有“跳动极点”的因式中, 令  $z=1$ , 将此因式变为常数即可消除  $G_c(z)$  “跳动极点”, 然后将  $G_c(z)$  反变换得到差分方程。

## 2 啤酒糖化温度控制系统

啤酒糖化温度控制对象可近似为:

$$G_p(s) = \frac{K_p}{T_s + 1} e^{-\tau s} \quad (9)$$

其中,  $K_p$  为比例系数,  $T$  为时间常数,  $\tau$  为纯滞后时间。设温度由  $r_0$  上升至  $r_f$ 。模型参数可通过工业现场实验获得, 飞升曲线见图 1 所示。实验过程如下:

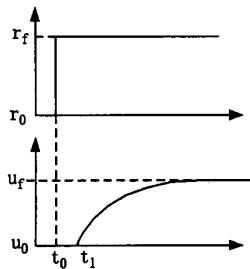


图 1 飞升曲线

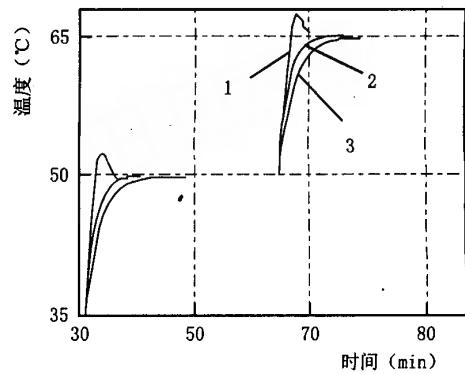
(1) 通过手动调节控制器  $u$ , 使  $y(\infty)=r_f$ , 这时的  $u$  就是  $u_f$ ,  $K_p$  可由式(10)求得。

$$K_p = \frac{r_f - r_0}{u_f - u_0} \quad (10)$$

(2) 将  $u$  调至  $u_0$ , 并使糖化温度稳定在  $r_0$ , 然后手动调节  $u_0$  至  $u_f$ , 得到纯滞后时间  $\tau=t_1-t_0$ 。

(3) 设  $y-r_0=0.632(r_f-r_0)$  时的时间为  $t_T$ , 则  $T=t_T-\tau-t_0$ 。

通过工业现场试验可以得到啤酒糖化温度控制对象的传递函数参数为  $K_p=0.875$ ,  $T=324$ ,  $\tau=60$ , 取采样时间  $T_s=10$  s,  $T_1=100$ , 温度由 35 ℃ 升高至 50 ℃ 休止, 然后再升至 65 ℃ 休止时的温度曲线见图 2。



曲线 1——PID 控制作用较强时温度输出; 曲线 2——采用大林控制时温度输出; 曲线 3——PID 控制作用较弱时温度输出。

图 2 大林控制与单纯 PID 控制温度输出比较

啤酒糖化温度控制系统的结构如图 3 所示。由于在啤酒糖化温度控制过程中, 控制阀门开度在保持一定时, 蒸汽压力的变化会使蒸汽流量发生变化, 引起温度值波动。为了抵抗过程中的干扰采用串级控制结构<sup>[6]</sup>。串级控制副回路对象可以选择进入夹套的蒸汽流量, 以主调节器 TC 的输出来校正副调节器 FC 的给定。主回路中 TC 采用大林控制; 副回路中 FC 采用 PID 控制, 取较高的采样控制频率, 其参数的选择原则同传统的 PID 调节器。出现蒸汽压力干扰后, 大林-串级控制结果见图 4。由图 4 可以看出, 大林-串级控制的抗干扰性比单纯的大林控制明显增强。

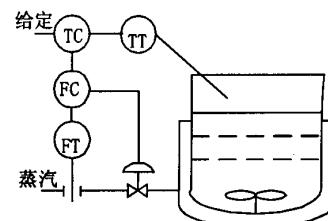
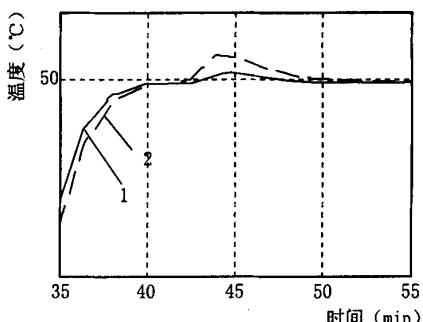


图 3 糖化温度控制系统结构图

整个啤酒糖化温度控制系统采用分布式控制结构, 上位机采用工控机, 实现人工干预操作, 参数设定及显示报警, 报表查询打印和换班管理等操作。下位机采用西门子公司 SIMATIC S7-200 系列 PLC<sup>TM</sup>, 进行数据采集和控制。控制系统硬件构成见图 5。



曲线1——Dahlin-PID串级控制温度输出；曲线2——采用单纯大林控制时温度输出。

图4 大林-串级控制温度曲线与大林控制比较

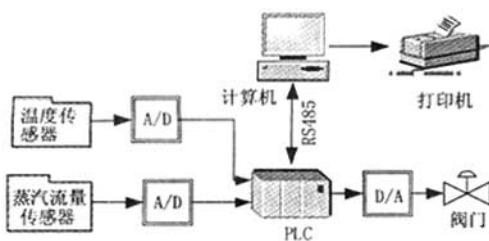


图5 糖化温度控制系统硬件构成图

### 3 结论

本文针对啤酒糖化温度控制系统存在的问题,采用了大林-串级控制策略。运行结果表明,该控制方案具有调节速度快、动态性能好、超调小、抗干扰性强的特点。同时因其温度跟踪速度的提高而缩短了糖化时间,提高了生产效率和啤酒糖化工艺水平,也可用于有滞后影响且要求快速响应的其他场合。

### 参考文献:

- [1] 李红,吴永阳,张五九.糖化温度对啤酒风味的影响[J].啤酒科技,2004,(9):33-34.
- [2] Wolfgang Kunze.啤酒工艺实用技术(第1版)[M].北京:中国轻工业出版社,1998.
- [3] 蔡振宇,王丽群.PLC在啤酒糖化过程控制中的应用[J].可编程控制器与工厂自动化,2004,22(1):44-45.
- [4] 何衍庆,愈金寿,蒋慰孙.工业生产过程控制(第1版)[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [5] 杨琳娟,李秋明,顺德英.大林算法在炉温控制中的应用[J].仪器仪表学报,2005,26(8):450-454.
- [6] 陶永华.新型PID控制及其应用(第2版)[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [7] 温照方.SIMATIC S7-200可编程序控制器教程(第1版)[M].北京:北京理工大学出版社,2002.

## 《华夏酒报》出版2000期庆典活动在渝举行



华夏酒报庆典活动

流”的办报宗旨。

《华夏酒报》的2000期,度过了18个春秋,从咿呀学语,蹒跚学步,到渐渐长大,默默地、忠实地记录着中国酒业的改革和发展,现在已亭亭玉立,让人称羡。我们衷心地祝愿她一路走好!

庆典同期,还举行了“2006年度中国酒业十大新闻人物和2006年度中国酒业十大创新品牌”颁奖典礼。十大新闻人物:酒类管理法制化进程的推动者曲英、行业发展的“主心骨”王延才、“国酒”的守护神季克良、进口葡萄酒渠道十大变更见证人李伟革、锐意进取王者风范的宁凤莲、四战略刷新企业历史的蔡宏柱、与“龙”共舞的刘春梅、酒“凤”翱翔看今朝的喻德鱼、黄酒行业的领跑者付建伟、酒界中的爱心使者周晓峰。十大创新品牌:用创新演义“钱文化”的榆树钱、高档白酒的一面旗帜国窖1573、强劲复出的董酒、老字号创新路的红星、芝麻香型代表景芝神酿、创新让国酒闪光的会稽山、高歌猛进国际化的张裕、让桃红绽放精彩的夏都、清香四溢的杏花村汾酒、“改+行”蓄积创新动力源的烟啤集团。

此外,还对五十大创新产品颁奖,其中,白酒20个,啤酒10个,葡萄酒10个,黄酒、果露酒10个。(小雨)



华夏酒报总编刘世松主持仪式