第5卷 无锡轻工业学院学报 Vol.5
第3期 JOURNAL OF THE WUXI INSTITUTE OF LIGHT INDUSTRY 1986 No.3

啤酒厂糖化车间生产过程的计算机控制

须 文 波

(自动化系)

一、前 言

啤酒厂麦芽的糖化是啤酒生产的一个重要中间环节，其糖化得率及产量直接关系到啤酒生产的质量和产量。目前，国内啤酒厂普遍采用手动控制，由操作人员根据温度压力仪表调节阀门来保证锅内蒸气压力，结果往往由于蒸气压力的波动和工人的疏忽，引起质量的不稳定和设备的不安全。

作者采用 TP—801 单板机控制系统对泰兴啤酒厂糖化车间的糖化过程实行控制，半年多的运行证明，该系统稳定可靠，能准确按给定要求控制糖化，提高了啤酒的质量和产量，减轻了工人的劳动强度，保证了设备的安全。据泰兴啤酒厂提供的数据，使用了微机控制以后，效率提高了 1.7%，按年产 1 万吨啤酒计算，节约麦芽一项可达 2.1万元，半年即可收回投资。并可保证每天生产 6 个批次，对于每天生产 5 批次的啤酒厂来说，可提高产量20%。

二、控制系统的硬件组成

计算机采用 TP—801 单板机一台，配有 A/D、D/A 接口电路，允许 8 路模拟量 A/D 输入(实用 4 路)和 2 路模拟量 D/A 输出，还有 3 路输入开关量和 5 路输出控制开关量，其分配如下：

1) 四路模拟量输入　糖化锅物料的温度和压力；糊化锅物料的温度和压力。

2) 二路模拟量输出　糖化锅进汽压力控制用模拟量电压；糊化锅进汽压力控制用模拟量电压。

3) 三路开关量信号　糖化曲线修改选择；麦汁泵和并醪泵关泵控制信号；功能模块选择信号。

4) 五路控制开关量　糖化搅拌器的开闭；糊化锅搅拌器的开闭；并醪泵的开闭；麦汁泵的开闭；报警信号。

接口电路如图 1 所示。

利用半导体 PN 结测温探头分别测得糖化锅、糊化锅的温度，通过测温电桥转变成电信号，再经过运放放大和规一化为 0～5 伏的电压信号，由 ADC0809 片转换成数字量从PIOA

本文 1985 年 10 月16 日收到

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

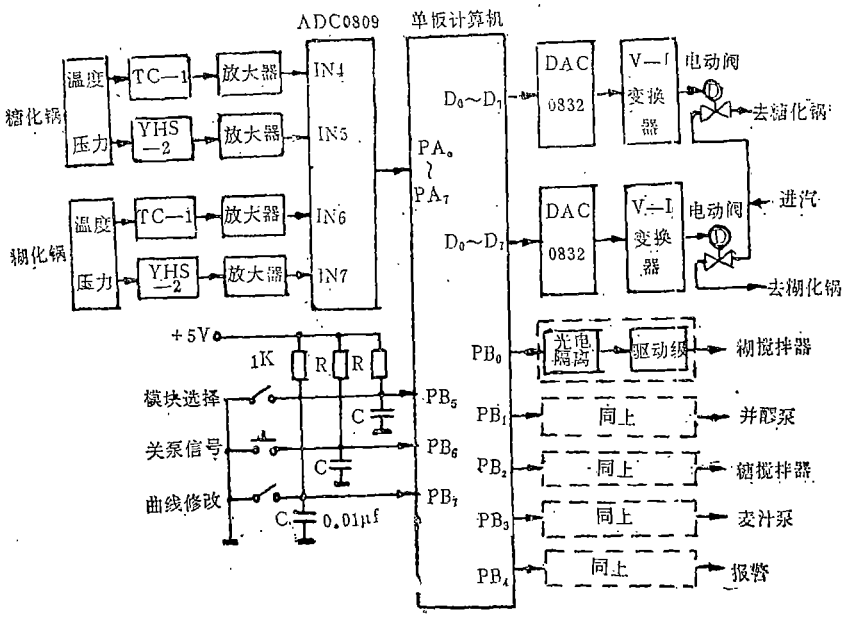


图 1 控制系统硬件连接示意图

口输入计算机；利用 YHS—2 型霍尔元件压力变送器测得锅内汽压也经放大规一和 A/D 转换后输入；而开关量的输入/出则通过 PIO B 口来实现；控制电动调节阀的控制信号则由计算机经过二片 DAC0832 和运放 F007 输出，经 V—I 变换器转换成 0～10mA 的电流信号来控制 ZAZP—16 电动调节阀的开度。该微机系统用数码管显示糖化过程各阶段的进程。

三、微机控制的软件结构

整个控制系统软件分成二个模块，即初始加温模块和正常糖化控制模块，可通过面板开关选择。考虑到不同等级麦芽有不同的最佳糖化曲线，故设置了修改参数选择开关，便于临时修改参数，并用软件连锁保证修改后一直能按修改的参数进行控制，直到停电或再修改为止。

初始加温模块作用是将糖化锅和糊化锅内的冷水加热到投料时所需要的温度，当温度达到预定值时，关闭电动调节阀，并且给出信号通知工人投料，此时，重新启动即可进入正常工作模块，初始化程序及初始加温模块框图见图 2 所示。

正常糖化工作模块采用 CTC 定时中断方式，每 25mS 中断一次，整个糖化过程由CTC 中断服务程序处理，并对两锅糖化进程用显示器显示，便于工人随时掌握糖化的进程。其主程序和中断服务程序如图 3 所示。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

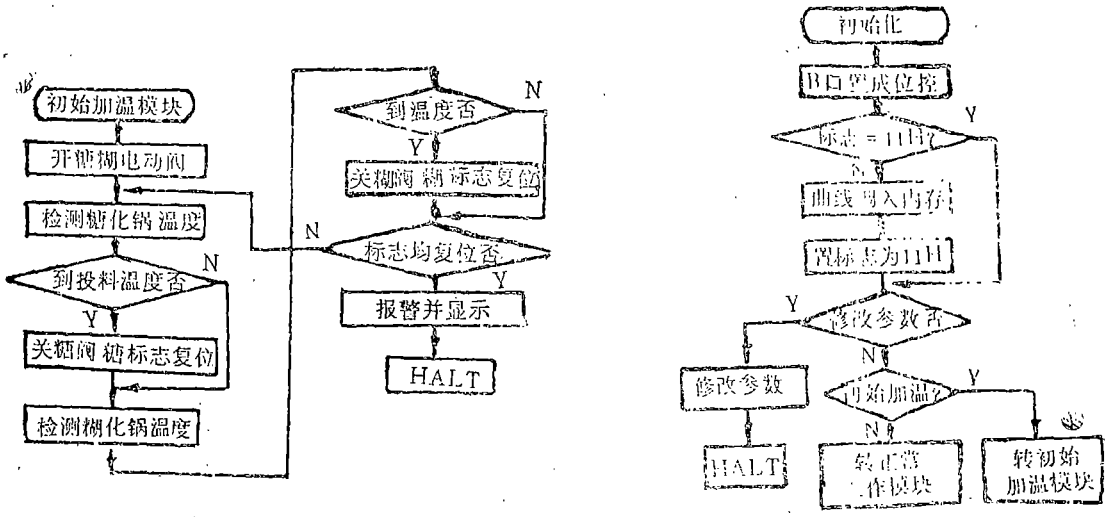


图 2　初始化程序及初始加温模块框图

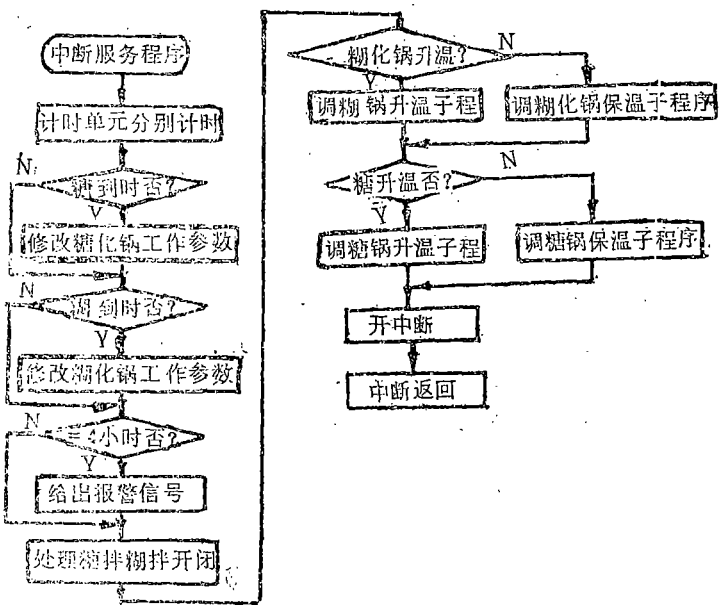


图 3　正常工作模块程序框图

四、糖化过程自动控制的实施方法

1. 参数的设置

整个控制系统的主要功能是由正常工作模块的程序来实施的。为了便于修改糖化曲线，并考虑到对不同糖化曲线软件编制时的通用性和工艺上的不同要求，故将糖化曲线(图 4)分成各个区段，对每段过程分成三个参数来描述，即温度、时间和设备参数。在内存中将各阶段的三个参数用连续的三个单元来存放，依次为温度、时间及设备参数。设备参数按表 1 规定；温度参数单元一般存放转折点处的温度值。由于在并醪和 1/3 分醪时，设备参数变动较大，(各搅拌器开开停停，还要求有提示信号)故用 OFFH 作参数标志，用专用子程序处理。糊化锅停歇时，则用 OOH 作标志，以利于程序处理。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 设备参数表

01	糖化锅
02	井泵
04	过滤锅
08	麦汁泵
10	报警

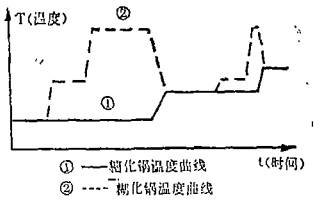


图 4 糖化温度曲线

由于两锅同步运行，故曲线设置时必须保证二者严格同步。

现场蒸气压力经常从 3kg/cm²～10kg/cm² 之间大幅度波动，在压力低时，阀门全开都达不到升温要求，升温时间用最大值设定，并用升温调节程序来调整升温时间和升温速率。

2. 软件设计中引入的 PID 控制方式

为了提高控制系统的调节品质、改善系统性能、加强对系统参数变化的适应能力、克服滞后和增加系统抗干扰性及稳定性，一般采用 PID 调节器。在常规仪表控制的场合，PID 调节是加入专用的模拟 PID 调节器，而采用微机控制以后，整个系统的调节是采用直接数字控制，即 DDC 控制，因而对系统的 PID 控制是用软件来实现的。理想模拟调节器 PID 算式为

$$P = K_p\left(e + \frac{1}{T_I}\int e\,dt + T_D\frac{de}{dt}\right) \qquad (1)$$

式中

K_P——比例系数

T_I——积分时间常数

T_D——微分时间常数

e——调节器输入偏差量

计算机采用 DDC 控制，故将 PID 算式离散为式

$$P_K = K_P\left[e_K + \frac{T}{T_I}\sum_{i=1}^{K} e_i + \frac{T_D}{T}\Delta e_K\right] \qquad (2)$$

式中

e_K——第K次采样所得偏差信号

Δe_K——为 $e_K - e_{K-1}$

T——采样周期

P_K——第K次输出控制量(对应阀门位置)

式(2)一般称为 PID 的位置算式，由于误差量采用累加，若一旦发生故障，易造成输出量P的大幅度变化，故目前采用 PID 的增量式

$$\Delta P_K = K_P(e_K - e_{K-1}) + K_I e_K + K_2(e_K - 2e_{K-1} + e_{K-2}) \qquad (3)$$

式中

K_1——积分常数等于 $K_P\frac{T}{T_I}$

K_2——微分常数等于 $K_P\frac{T_D}{T}$

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

为了方便，将式(3)改成下式：

$$\Delta P_K = Ae_K + Be_{K-1} + Ce_{K-2} \qquad (4)$$

式中

$$A = K_P\left(1 + \frac{T}{T_1} + \frac{T_D}{T}\right),\quad B = -K_P\left(1 + 2\frac{T_D}{T}\right),\quad C = K_P\frac{T_D}{T}$$

此时，PID 算式改变成一个偏差的代数式，从而使控制算式更加简单，且 A、B、C 三个参数也可独立进行选择。

对于压力的 PID 环节，取 $T = 5T_1$，$T_1 = 4T_D$，则上式可简化为仅对一个参数 K_P 选择的 PID 算式：

$$\Delta P_K = K_P(2.45e_K - 3.5e_K + 1.25e_{K-2}) \qquad (5)$$

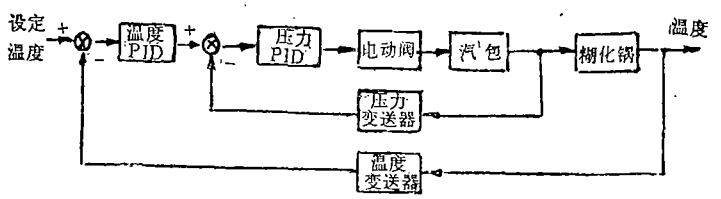
3．保温子程序的程序设计

保温子程序的控制方式采用比单回路 PID 复杂一些的串级 PID 控制方式。

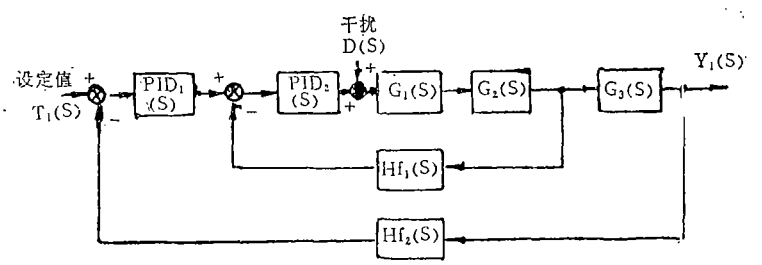
根据工艺要求，糖化过程中有 100℃ 煮沸保温和100℃以下保温两种保温状态，在100℃煮沸时，采用设定煮沸时蒸气压力，用单回路的 PID 控制蒸气压力；而在100℃以下保温则采用带死区控制的串级 PID 控制方式。

糖化车间的糖化锅和糊化锅是一个热容量很大的控制系统，其等效为一个有很大滞后时间常数的环节，由于滞后时间常数 τ 的存在对于控制是极为不利的，它使系统稳定性降低，最大偏差和控制时间增大，一般用单回路的 PID 控制是很难获得良好控制质量，且现场蒸气压力波动严重(从3kg/cm²～10kg/cm²以上波动)，这对控制系统是一个极大的干扰信号。

为了解决控温通道较大滞后及汽压不稳等干扰因素对控制质量的影响，故采用串级式 PID 控制方式，现以糊化锅为例(糖化锅情况与糊化锅同)其保温系统框图及其传递函数框图如图5所示。



a 控制系统示意图



b 考虑干扰后控制系统传递函数图

图 5　糊化锅保温系统框图及传递函数框图

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

图中

$D(S)$为干扰传递函数

$PID_1(S)$为温度PID调节器的传递函数

$PID_2(S)$为压力PID调节器的传递函数

$G_1(S)$为糊化锅的传递函数

$G_2(S)$为糊化锅加热夹层的传递函数

$G_3(S)$为电动调节阀的传递函数

$H_{f1}(S)$为压力传感器的传递函数

$H_{f2}(S)$为温度传感器的传递函数

在糊化锅中的串级PID控制中，将温度控制作为主控回路，而压力控制作为副控回路，控制过程包括采样读入温度和压力两个过程参数，完成两次PID计算及一次采样输出。主控制回路在系统中根据温度的实际要求来确定应有的压力设定值。即在增量式PID算式中，主回路的输出只作为修正副回路设定值的依据。副控回路的PID计算是在修正后的副控回路设定值的基础上进行的。

在串级PID控制中，副控回路中压力的大幅度变动对调节系统中相当于在副控回路中引入一个大的干扰，如图$D(S)$，此干扰远远大于设定值，只采用压力PID调节，则将产生积分饱和或执行机构的大幅度波动，严重影响控制质量。而串级PID调节系统可大大提高抗干扰能力，根据理论分析和现场测试，可以将糊化锅及加热夹层分别等效成一阶滞后系统，将电动调节阀等效成一个常系数放大环节，压力传感器和温度传感器则用常系数放大环节来近似，它们可用式(5)来表示。这样整个系统在未加PID调节前为二阶滞后系统。

$$PID_1(S) = K_1\left(1 + \frac{1}{T_I S} + T_D S\right)$$

$$PID_2(S) = K_2\left(1 + \frac{1}{T_I' S} + T_D' S\right)$$

$$G_1(S) = \frac{K_{01}}{T_{01}S + 1} e^{-\tau_1 S}$$

$$G_2(S) = \frac{K_{02}}{T_{02}S + 1} e^{-\tau_2 S}$$

$$G_3(S) = K_{03}$$

$$H_{f1}(S) = K_{f1}$$

$$H_{f2}(S) = K_{f3} \qquad (5)$$

可以证明：

$$\frac{Y_1(S)/T(S)}{Y_1(S)/D(S)} = PID_1(S) \cdot PID_2(S) \qquad (6)$$

式中

$Y_1(S)$、$T(S)$、$D(S)$意义见图5。

当$PID_1(S)$和$PID_2(S)$为纯比例系统时，系统抗干扰能力可用式(6)的值来表征。只要

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

参数选择合适，可使系统抗汽压波动能力大大加强，该系统还可减少时间常数；增加系统工作频率；并具有一定的自适应能力。

计算机控制保温子程序中，两个 PID 调节器是适应用软件计算来实现的。现主要说明100℃以下保温子程序。其采样温度和压力二级串接的 PID 控制(称串级 PID 控制)，其中温度为主控回路，压力为副控回路。对副控回路的 PID 调节就和单回路 PID 相同，而主控(温度)回路的 PID 调节器则采用带死区的串级 PID 控制。因为糖化锅和糊化锅保温时阀位一般处于零位，且两锅仅有一个蒸气加工系统，而无冷却系统，超温只能采用加水冷却方式，所以只能采用带死区的PID调节控制。当温度在给定允许值±1℃范围内，则关阀保温，当温度超过允许值时，则调用故障报警处理系统，通知工人降温。当低于设定允许值时才加入温度压力的串级 PID 控制。程序框图如图 6 所示。

4．升温子程序的设计

在升温子程序的设计中采用如下措施：

1) 升温速度作为输入给定量，输出量采用实测温度，整个系统的控制方式仍采用串级PID 控制，用温度作为主回路控制量，压力作为副回路的控制量。

2) 由于升温时外界压力值波动较大，有时电动调节阀全开都无法达到要求的汽压值，因而加入了电动阀阀位限位程序，以免计算机溢出引起关小阀门的误动作，

3) 为了减少电动调节阀的调节次数及刚开始升温和汽压大幅度波动时引起的积分饱和现象或引起大幅度超调和长时间振荡，在副回路的控制中采用带选择性的PID调节方式，当汽压在一定范围内才引入 PID 控制，超出范围则采用专用程序处理之。实践证明，此方法可以大大减少电动阀的调节次数，提高控制质量。其框图同保温子程序(见图 5)。将设定值$T_1(S)$改为升温速率，副回路 $PID_2(S)$改为选择性控制的 PID 即可。

整个升温子程序框图如图 7 所示，由于采用升温速率作为主控回路误差计算量，且计算机 CPU 字长及 A/D 转换是 8 位，升温范围又较大，所以升温速度采样时间常数取副控回路采样时间的 6 倍，即取60秒为升温速度采样时间。

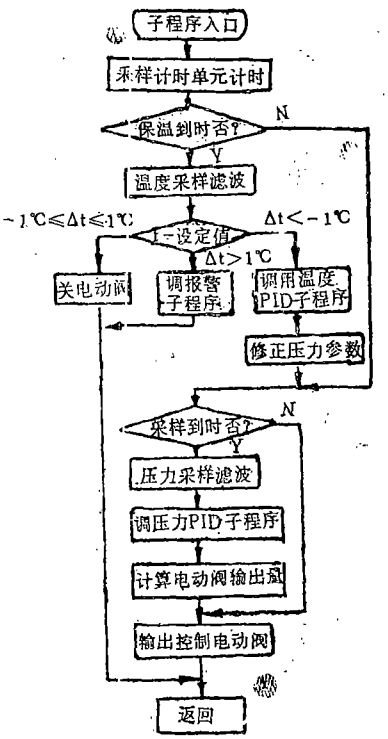


图6　100℃以下保温子程序框图

五．抗干扰措施

由于单板机抗干扰性能比较差，现场干扰比较大，一般来说，影响微机正常工作的干扰途径有①电源；②输入输出回路；③电磁波辐射；④共模电压。其中以电源和输入输出回路引入的干扰对微机正常工作影响最大，尤其是用电设备频繁起停时和电源电压波动等带来的尖脉冲干扰，一旦引入计算机，则直接影响系统的可靠性，严重时可引起微机停机或误动作，因此必须采取软件硬件相结合的抗干扰措施。

1．硬件措施

首先，对单板机电源交流 220V 进线处和 5V 直流输出均接入双 LC 滤波网络，并在交流侧加上交流 220V 的稳压电源，削弱电源引入的干扰；其次，对输入输出回路采用屏蔽接

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

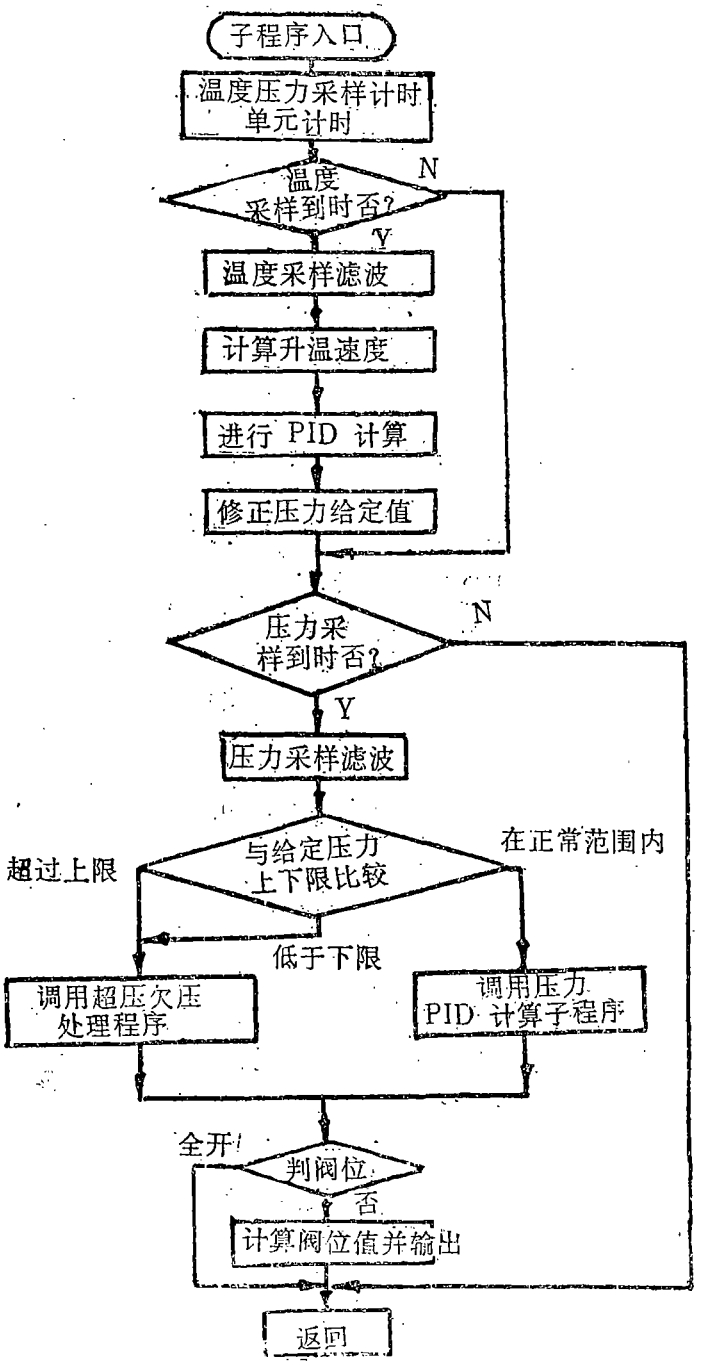


图 7 升温子程序框图

地，输入回路采用*RC*吸收电路(见图 1)，对输出回路采用光电隔离，以减少干扰引入；最后，采用了整机屏蔽接地和模拟地数字地分别接地措施，减少了共模电压和电磁波的干扰。事实证明上述措施对系统稳定工作有很大好处。

2．软件措施：

软件措施主要采用数字滤波技术，其中包括两方面，其一，每次中断后即对两锅温度压力连续采样10次，调用数据排队程序将同类数据按大到小排队，剔除最大值和最小值，再取

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

余下数据的平均值作为测量值；其二，在中断服务程序中设计一个监视程序，当采样量和上次采样量比较发生显著变化时，则重新采样滤波，直到前后二次采样量误差小于某一给定值为止，若三次都达不到要求则给出报警信号。

采用上述软硬件相结合的抗干扰措施，系统一直稳定可靠地运行。

六、结 束 语

本文仅对啤酒厂糖化车间的微机控制系统作了初步的说明，由于采用了微机，很容易利用灵活的软件技术加上硬件接口实现对糖化过程的实时控制，控制性能大大优于常规仪表控制，且投资也较常规仪表控制节省，现已开始在其它啤酒厂推广。这个系统的控制原理和方法亦适合于其它需要控温控压的场所。

参加本项目工作的有徐茂成、汤延震等同志，在此表示感谢。

参 考 文 献

[1] 周明德，《微型计算机硬件软件及其应用》，清华大学出版社，1982

[2] 蒋嗣荣、洪振华，《计算机控制技术》，西北电讯工程学院出版社，1985

[3] 绪方胜彦(日)，《现代控制工程》，科学出版社，1984

[4] Robert J. Bibbero,《Microprocessors in Instruments and control, John Wiley & Sous, Inc., 1977

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net