

啤酒发酵过程的微型计算机控制系统

吕 东 庚

(计算机科学(电脑)系)

摘 要

本文论述一个利用单台微型机控制96个通道的控制系统的设计思想和实现措施。该系统采用中断分时处理方式,充分提高了CPU利用率,实现控制24个啤酒发酵罐的工作,该系统具有人机对话和与后备机实时通讯的功能,可依生产需要随时更改工艺参数和改变工作进程,使得系统控制功能灵活、操作方便,并提高其可靠性。本系统设计充分发挥计算机软硬件结合的特点,因而大大简化了系统输入、输出电路,降低了系统的造价。

一、前言

啤酒发酵过程的计算机控制系统,目前国内已有一、两个厂家投入运行,但未能获得广泛应用。其原因主要有三方面:(1)未能充分利用CPU的高速运算功能,每台微型机最多只能控制6个发酵罐,造成系统相对价格太高;(2)软件功能不足,灵活性差,难于适应不同菌种、原料所对应的不同工艺过程,特别在试生产及品种更新阶段,不便于工艺人员及时更新工艺参数;(3)未能充分发挥计算机软硬件结合的技术特色,检测及执行驱动电路多数仍采用原机电控制方式的庞大电路结构,因此未能全面体现计算机控制的优越性。本文以我们为三明酒厂研制的啤酒发酵过程计算机控制系统为例,论述在该系统的设计和实现过程中如何有效解决上述问题。

二、系统技术指标

啤酒发酵过程其本质是通过酵母的多种酶解作用,把可发酵性糖类转变为酒精和二氧化碳的生化反应过程。对这一反应过程的控制实际上只需控制温度和压力随时间的变化,就可改变糖度的变化速度,也就控制了发酵速度和酵母的代谢产物,从而达到控制啤酒质量的目的。根据这一生化原理及工厂生产实际需要,可制定出控制系统的技术指标如下:

(1)被控制的发酵罐总数为24罐,每罐容积 60m^3 。(2)每罐应有三路温度测量装置和相应的控制机构,温度的控制方法采用控制进入上、中、下三个夹套中冷却酒精(-4°C)的流

本文1987年2月28日收到。

量来实现,其结构如图 1 所示。(3)每罐有一压力测量装置,且压力控制采用缓慢排气方式实现。(4)温度测量范围: $-1 \sim +20^{\circ}\text{C}$; 温度控制精度: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。(5)压力测量范围: $0 \sim 1.6 \times 10^5 \text{Pa}$; 压力控制精度: $\pm 1 \times 10^4 \text{Pa}$ 。(6)系统具有人机对话功能,操作员可根据需要对系统进行 15 种不同的操作。(7)系统采用 PID 调节规律,其比例、积分及微分常数可用人机对话方式及时键入。(8)系统具有超限声光报警,以及相应的自诊断和故障检测标志。(9)自动/手动(遥控)切换方便。(10)显示方式:用 CRT 直接显示每罐的温度、压力、工作时间及工艺参数组号。(11)打印方式:可以定时或用人机对话方式打印出各罐实时的工艺参数。(12)系统的全部软件均应固化在内存中。(13)系统停电时主机能自动切换为蓄电池供电。

三、系统的设计思想

从充分利用计算机的效能和提高计算机控制的经济效益出发,本系统设计时着重考虑:利用单台微型机实现对 96 个通道的控制;探讨在实时控制过程中使用人机对话方式以提高系统的灵活性;尽力发挥软、硬件结合的特点,简化原机电式控制系统的输入、输出电路;充分利用计算机的运算能力提高系统的可靠性。

1. 利用单台微型机实现 96 路控制

根据任务要求,系统应控制 24 个发酵罐,被控对象共 96 路。考虑环境温度、湿度对输入测试电路的影响,系统输入部分必须分别加入环境温度、湿度误差校正测试电路,因此系统至少应有 98 个输入通道和 96 个输出通道。为了用单台微机对上述通道实现有效测量和控制,在设计中注意到啤酒发酵过程是一个变化十分缓慢的生化反应过程,其被控参数产生有效变化的时间通常需要几十分钟,因此计算机对各输入通道的采样周期就可长达 2—4 分钟。如果用汇编语言直接编写计算机的测控处理程序并预先存入内存,则计算机对每一通道进行测控处理所耗费的 CPU 时间仅为几十毫秒。所以在计算机对任一通道进行两次采样及测控处理的时间间隔内,CPU 必然存在着大量的空余时间,它除了可用于完成对其余 97 个通道的采样和测控处理外,尚有较大余力可供系统其它功能使用。

2. 采用人机对话增强系统灵活性

鉴于实际生产中各罐所用的原料、投入运行的时间都会不相同,以及有时会出现特殊情况,为了在必要时能使每一个通道提供出比萤光屏在正常情况下提供的更详细的工作信息,并能及时对各通道更改工作要求或更改各罐的工艺参数,系统设置了人机对话,它可对系统中的任一罐(或通道)进行 15 种不同的检查、修改或操作。为了解决人机对话与各通道测控操作争夺 CPU 工作时间的矛盾,我们根据上述关于通道采样周期的分析和对测控处理所需时间的估算,采用中断分时处理方式以实现系统对各通道的测控操作。并将人机对话程序安排在系统主程序中。

3. 软硬件结合简化系统结构

系统设计的另一个重要目标是发挥计算机软、硬件结合的优点,简化原有机电式控制系统中输入、输出电路的结构,从而降低系统造价,提高系统可靠性。为此在设计时抛弃了常规控制方式中各通道的电阻式测温传感器与控制系统之间的中间变送器,而采用在系统中加入一路公用的环境温度修正和一路环境湿度修正,并通过软件运算以消除各通道在测温时由

于引线电阻、电路绝缘电阻及其随温、湿度变化对测试精度的影响。在输出电路中,则采用模拟保持和由 CPU 定期对模拟保持电路进行修正的方法,使系统送往执行机构的模拟信号,既能快速响应计算机的运算结果,又能在系统保持相对静止时长期保持输出信号稳定。从而大大简化了输出电路。

4. 增强系统的可靠性

本系统不但采用常规超温、超压时的发声和光标报警,并注意各输入通道的滤波和接地工艺。同时着重采取三个重要措施:(1)在测试程序中引入脉冲干扰抑制——软件限幅抑制和增量速率抑制。(2)对50Hz的工频干扰采用同步取样滤波。(3)配备一台后备计算机,让其与工作主机保持通讯联系;每当工作主机对所有通道执行完一次测控处理后,其内存中的全部数据即被传送到后备机相应的内存区,因此一旦主机出现故障,则可立即用一个键盘命令使后备机接替工作主机继续执行任务。

基于上述设计思想可画出系统的方框图如图1所示。

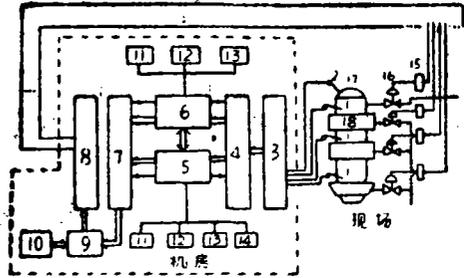


图1 系统总方框图

- 1—铂电阻温度计; 2—压力传感器; 3—测量电桥及滤波电路; 4—多路转换开关; 5—主控微型机; 6—后备微型机; 7—多路转换开关及多路保持电路; 8—各路驱动电路; 9—手动/自动切换; 10—手动操作柜; 11—报警器; 12—键盘; 13—显示器; 14—打印机; 15—电/气转换器; 16—气动薄膜阀; 17—发酵罐(共24罐); 18—冷却夹套。

四、系统的实现

1. 采用中断分时处理全面增强系统功能

根据上述分析,系统应具备如下功能:对98个输入通道的测控、人机对话、对输出模拟电路的定时修正、与后备计算机间的定时通讯以及一般系统中所具有的屏幕信息更换及定时打印。为了在单台微型机上完成上述功能,又不致产生多种功能争夺CPU而造成失误,最简便而有效的方法是采用中断分时处理方式,即把CPU的有效工作时间分配给各个通道及各种功能,而后把各种功能的中断请求和通道的测控请求,按其轻重缓急安排相应的中断优先权。

经验表明:对于 60m^3 左右采用夹层冷却又具有较好保温层的发酵罐,其取样周期可选取为2min。经初步估算可求出,系统对每一个通道进行一次取样及PID运算处理所需的时间不会超过30ms。所以若在每1s信号开始时对一个通道进行测控处理,则在2min内可完成120个通道的测控处理。而且在前一通道完成处理任务而后一通道尚未被处理之前,CPU仍有大量空余时间可供其它功能使用。

为简化输出系统的电路结构并保持输出信号稳定,可采用电容保持及CPU定时对保持电容进行修正的方法^[2]。基于该论述,本系统每100ms需对所有输出保持电容分别进行一次修正,这一过程约需占用CPU 7.5ms。因此,令输出系统每100ms申请一次中断,并使该中断的优先级高于输入通道的测控中断,则可防止上述两个功能之间争夺CPU所产生的失误。

此外，系统中还设有“分钟”中断。该中断的任务是：(1)对系统的标准时钟及各罐工作时钟加1 min 并进行进位运算。(2)对屏幕切换及打印定时时钟进行加一运算。一旦屏幕切换时间或定时打印时间到达预定值，则进行屏幕切换和打印处理。这一中断功能所需占用CPU的工作时间约为50ms，在系统中断链中把这一中断安排为最低优先级。

最后一个需要定时完成的功能是工作机向后备机传送实时工作参数的通讯功能，它被安排在系统对所有通道执行一次测控处理，并对温度和湿度修正通道进行实时测试完毕后的下一个秒中断时间内进行。考虑到系统应具有适当的冗余度，因此温度及湿度修正通道的实时测试被安排在每次循环的第101s及102s的中断服务程序中进行，而通讯功能则由第103s的中断服务程序进行处理。

基于上述考虑，在系统对所有通道执行一次处理的103s周期内，CPU的忙碌情况可分为三种：(1)在1s内需要执行通讯处理、分钟中断处理、测控处理和对输出保持的修正处理。初步估算在这1s内CPU的有效工作时间需为600ms左右。(2)在1s内除不执行通讯处理外，其它任务同第一种情况，在这1s内CPU的有效工作时间需0.15s。(3)在1s内仅执行测控处理及输出保持修正处理，这1s内CPU的有效工作时间需0.1s。由于在103s周期内，出现第一种情况的次数仅有一次，出现第二种情况的次数仅有两次。因此，若在系统执行了初始化程序之后让其转入人机对话程序。则这种安排不仅不会影响其它各功能的正常运行，而且在多数情况下，系统对键盘命令的响应时间不会超过0.15s。现场运行观测证实，输出保持修正处理所需时间为6.5ms/0.1s，测控处理所需时间为25ms/s，分钟中断处理所需时间为35ms/min，通讯处理所需时间为0.5s/103s。上述功能的时间分布图如图2所示。

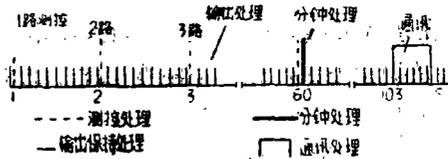


图2 各处理功能时间分布图

2. 发挥软硬结合优势简化外围电路结构

(1) 输入通道：

系统的输入部分有102个通道(其中有4个后备通道)这些通道分别接向一组模拟转换开关，并在计算机控制下按一定的时间顺序把信号送入公用的输入放大器A₁，而后进入计算机的A/D转换器。其原理图如图3所示。

(1) 测温电路：

测温通道采用WZP铂热电阻传感器，并以桥路形式构成测量电路(图4)。图中R_{1n}、R'_n为第n路的供电臂和微调电阻，R_{in}、R_{in}则为第n路

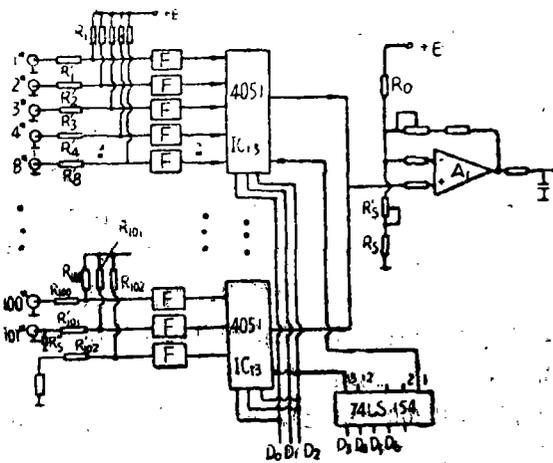


图3 输入电路原理图

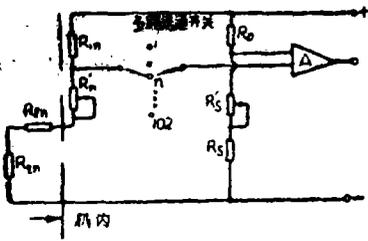


图 4 桥式测量电路

的测温铂热电阻及其引线电缆的电阻。由于 R_s 选用精密线绕电阻, R_0 及 R_{1n} 是经专门筛选的高精度金属膜电阻, 因此桥路测量误差主要取决于引线电缆电阻及其温度系数。设第 n 路引线电缆长度为 l_n , 在 $t_0^\circ\text{C}$ 时每米的引线电阻值为 r , 其电阻温度系数为 ϵ , 且该路铂热电阻在 $T_0^\circ\text{C}$ 时的阻值为 R_{Tn} , 其温度系数为 ϵ_s , 则可求出在环境温度为 $t^\circ\text{C}$ 和被测温度为 $T^\circ\text{C}$ 时, 电桥未知臂的总阻值为

$$R_{zn} = R_{Tn} + \epsilon_s R_{Tn}(T - T_0) + r l_n + r l_n \epsilon (t - t_0) + R'_{1n} \quad (1)$$

为消除式中引线电缆电阻的温度增量误差 $r l_n \epsilon (t - t_0)$, 系统中增设一环境温度校正通道(101通道)。该通道为一根长度为 L 米的末端短路电缆, 它与测量桥路的连接处串接一个阻值等于 R_s 的高精度线绕电阻, 它在车间的走线途径与其它各通道电缆相同。在系统调试时测出该通道在 $t_0^\circ\text{C}$ 时的阻值, 并在系统工作的每次循环中再测量一次该通道的实时阻值, 而后借助于计算机的运算, 则可消除各通道引线电缆电阻的温度增量误差。式(1)中另一误差项 $r l_n$ 在系统调试时通过调节低阻线绕电位器 R'_{1n} 使电桥平衡予以消除。实测表明: 采用这一补偿及调试方法, 在环境温度变化 $\pm 20^\circ\text{C}$ 时, 由引线电缆长度不准确而引入的温度测试误差为 $\pm 0.1^\circ\text{C}/2.5\text{m}$ 。

(ii) 压力测量电路:

压力测量电路与测温电路基本相似, 其差别仅在于压力测量通道采用 YTZ-150 传感器。该传感器灵敏度较高, 所以在测控处理时不必进行引线电缆的温度修正。

为确保系统对温度及压力的控制误差分别不超过 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 和 $\pm 1 \times 10^4 \text{Pa}$ 。系统中的放大器采用 5G7650 集成运算放大器构成具有深度负反馈电路(其稳定性和共模抑制比均较好)。

(iii) 多路选通开关:

系统对通道的选择是通过在计算机内存中设置一个专用的通道选择字节和一个专用接口实现的(见图 3)。在系统工作时, 计算机根据通道选择字节的数值检测相应通道, 并在秒中断时对该通道进行测控处理, 每处理完一个通道立即使通道选择字节加 1, 并将该字节信息传送到上述接口中, 以实现对于下一个通道的选通。

(2) 输出通道结构:

参照机电式啤酒发酵控制系统的经验, 采用气动阀作为控制机构在经济上比较合适, 并且产生的干扰也较小。但由于气动阀所附带的驱动机构(电/气转换器)要求输入信号是模拟量, 所以系统输出必需进行一次 D/A 转换。鉴于啤酒发酵过程参数变化十分缓慢, 因此其取样周期很长。如果采用一般的电容保持方式作为 D/A 转换后的放大输出, 则在两次取样的间隔时间内, 不容易保持输出控制信号的稳定。而采用一般的数字保持和电容保持相结合的办法, 则因系统有 96 个输出通道, 电路将十分繁杂, 严重影响造价和可靠性。为解决这一问题, 本系统采用在计算机中开辟一个专用的内存区(共 200 个单元), 该区存放着各路输出的数字量。用它代替各输出通道的数字保持电路, 并利用 CPU 定时从该内存区中取出相应通道的输出数字量, 而后通过公用的 D/A 变换器对各通道电容保持电路中的输出信号进行修正,

其电路原理如图5所示。

为在某些情况下能对系统实现人工控制，输出通道中设置了手动控制机构 $R_{v01}—R_{v06}$ 及相应的自动—手动切换电路 $IC_{21}—IC_{52}$ 。该电路由三双通道模拟转换开关CH4053芯片构成。操作人员可以根据需要通过控制台开关，把任一罐的输出通道从自控切换为手控或从手控切换为自控。由于手控电路设置在输出驱动电路之前，它仅由一个多圈电位器和一个微安表组成，因而电路大大简化。

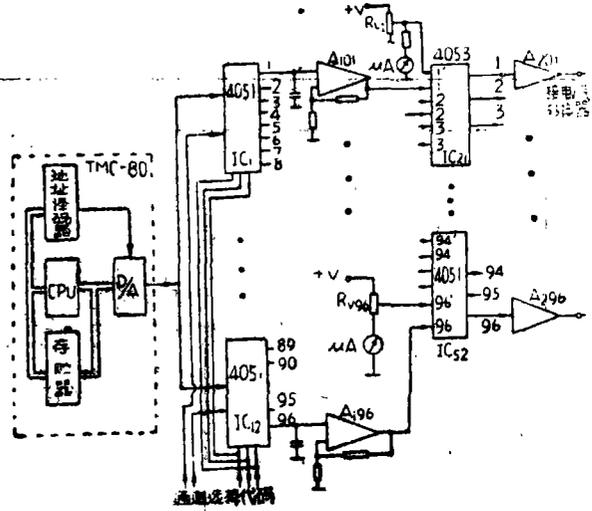


图5 输出电路原理框图

3. 系统的软件

本系统的软件按其功能可划分为：系统初始化、人机对话、输出保持修正、通道测量和PID控制、系统定时和显示与打印以及两机通讯等六个部分。现将各部分程序简述如下：

(1) 系统初始化程序及人机对话：

系统初始化程序包括对系统内存数据清零、设置堆栈、对显示屏幕进行格式化、把CTC及PIO芯片初始化为相应的工作状态。系统初始化后的屏幕显示格式如下：

罐号	温度	压力	工作时间	工艺参数组号	超差报警
1*	××.×	×.×	××日××时××分	· · ·	·
2*	××.×	×.×	××日××时××分	· · ·	·
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

屏幕左上角的秒信号光标受系统的秒中断控制产生闪动，右上角通讯光标的闪动则由系统的通讯功能控制。操作员可直接由上述两个光标监视系统实时钟、测控功能及通讯功能是否正常。

人机对话程序包括三个步骤：(1)核对用户口令；(2)根据所键入的操作命令转向相应的操作子程序；(3)以对话方式执行相应的操作子程序。在系统中共有15个专用对话命令，为使操作方便可靠，命令的键入采用复合键，对话的内容显示于屏幕最低两行，其功能见表1。系统初始化及人机对话流程如图6所示。

(2) 通道测量及PID控制：

通道测量及PID控制程序以秒中断服务程序的形式出现在系统中。该程序的任务是：对通道工作状态进行判断、把输入模拟信号转换为数字信号并加以滤波，然后进行环境温度、湿度修正，对各通道同一型号传感器参数离差的修正、工艺参数超差报警、以及PID运算。此外还附加两个功能：(1)每执行一次程序，屏幕左上角的光标变换一次标志，并在程序执行过程中使接口中的一个特定位置“1”。它们为系统提供了直观监视及电气测试的手段。

仅能容纳12个罐的工作参数及两行人机对话显示。因此,在内存中开辟 1k 字节“显示缓存区”用于存放24个罐的工作参数。并设置一换屏计时器,使程序按给定时间依序显示前12罐及后12罐的参数。在本程序执行过程中也有一个专用的接口测试位被置位,以便系统故障分析与检修,其流程如图8所示。

五、结束语

本系统于1986年8月投入使用。半年来的现场运行表明:该系统工作稳定可靠、功能齐全灵活、操作方便、抗干扰性强,较好地实现了原设计指标;而且本系统与目前国内造价最便宜的系统(单台微型机控制6罐的系统)相比,造价节省了一半。因此不论从技术上或经济上看,本系统有较好的推广价值,它为微型机在啤酒行业中的应用提供了较好的范例。

致谢:在本系统方案的论证和设计过程中,电脑系计算机控制课题组的同志曾提出宝贵意见。系统的具体实现和调试由本系黄元洪、曾德铭、柯金锁、蔡灿辉、谢玉水等同志和笔者共同完成,概此致谢。

参 考 文 献

- (1) 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).
- (2) 吕东庚, 多路分时控制系统中的模拟保持技术, 华侨大学学报(自然科学版), 7, 1 (1986).
- (3) Loviferne, B., Analog-Digital and Digital-Analog Convesion, Hegden & Son Ltd, (1982).
- (4) Michael, F., Hovdeski, P.E., Microprocessors in Industry, Van Nostvand Reinhold Compang, INC., (1984).
- (5) Michael, F., Progammig Microprocessors Interfaces for Control and Instrumentetion Prentice-Hall, INC., (1982).

A Microcomputer Controlled System for Running the Beer Fermentation Process

Lu Donggeng

Abstract

A control system in service, with a single microcomputer and 96 channels as its component parts, is discussed in this paper with respect to its design philosophy and implementation.

By means of interrupt time-sharing processing to increase the effectiveness of CPU, the system is capable of controlling 24 beer fermentation tanks simultaneously.

By means of man-machine conversation function and the function of real-time communication with an auxiliary computer, the system is capable of changing its technical parameters and progress of work according to the needs of production. Thus it is a system of versatile, easy to handle and reliable.

The system input and output circuits are simplified remarkably on account of hardware-software harmony in the designing and a low cost is thus ensured.