

发酵过程的微机集散控制系统

须文波 徐 玲 刘 飞 潘 丰

(自动化系)

摘要 介绍了微机 DCS 系统在柠檬酸发酵上的应用,阐述了系统软硬件的设计方法及有关可靠性措施。

主题词 控制系统;分布式计算机;发酵;模糊控制/集散式控制系统;控制方法设计

中图分类号 TP273;TP278

0 前 言

集散式控制系统(DCS)较集中式控制有更高的可靠性和性能价格比,由于 DCS 克服了常规控制仪表功能的局限,又较好地解决了早期计算机控制系统由于管理和控制过于集中带来的危险性,是当前大型工业测控系统的主要潮流。

在柠檬酸发酵控制中应用 DCS 系统,可提高产品质量、节能降耗,改善操作环境,提高管理水平。目前,国内外推出各种型号的 DCS 60 余种,但投资较大,中小型企业难于承受。作者研制的低成本 DCS 系统是无锡市 1993 年十大技改项目中的子项目之一,应用于无锡中亚化学有限公司的柠檬酸发酵,实现了发酵过程的全自动控制和管理,运行 1 年多来,证明此系统可靠,取得了可观的经济效益。

1 系统的总体构成

柠檬酸发酵工段有 12 只 100t 发酵罐(简称大罐)和 6 只 10t 种子罐(简称小罐)及 1 只试验罐。整个集散控制系统由上、中、下三级微机组成,负责全工段 19 只罐的参数检测与控制,系统框图如图 1 所示。

下位机共有 14 台 STD 工业控制机组成,负责现场各罐的数据采集与控制。其中 6 台采用一控一方式控制 6 只小罐,另外 6 台采用一控二方式控制 12 只大罐的发酵,试验罐及公共单元分别采用 1 台工控机控制。

中位机为车间工程师操作站,负责接收下位机采集的数据,并具有数据分析、图表显示、报表打印及系统优化的功能。同时还具有在线修改及设定下位机各参数,并监视下位机控制

收稿日期:1994-12-03

参数,在发生异常变化时,可自动设置参数的功能。中位机和下位机之间采用 RS-485 接口相连,构成分布式控制系统。

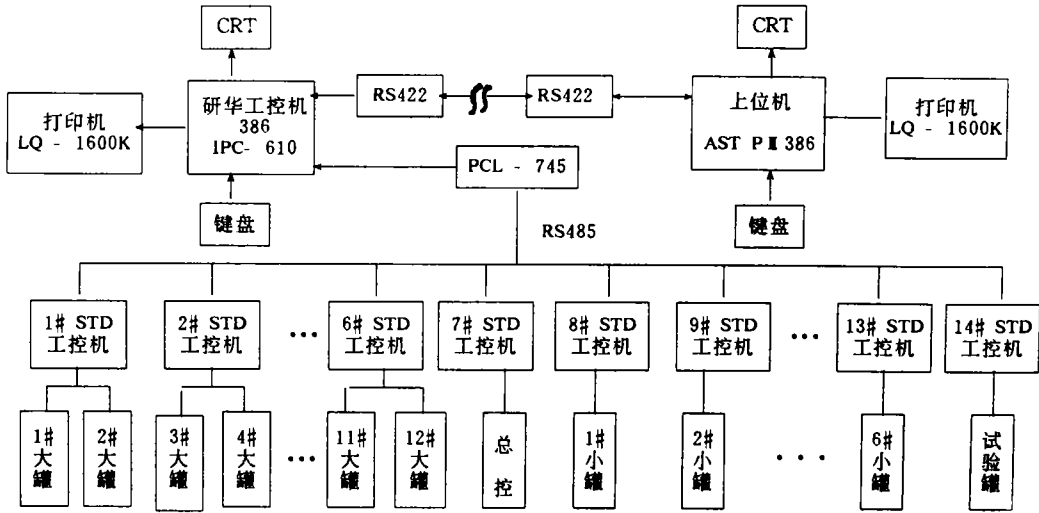


图 1 集散控制系统构成框图

上位机作为总经理管理系统,它和中位机之间采用 RS-422 接口实现点对点通信。并通过中位机,实现对下位机的监测,具有中位机的一切功能,同时还具备数据库管理、查询、检索、图表打印功能,与公司 MIS 系统联网,实现数据共享。

2 下位机的构成及软件设计

2.1 硬件组成

目前工业测控网络中较广泛采用的是 STD 工控机,具有接口模板齐全,组合方便的优点,且价格便宜。因此下位机选用 14 台 CPU 为 8032 的 STD 5055 主机板,加上 A/D,D/A,I/O 等接口构成。其框图如图 2 所示(为一控一配置,对大罐一控 2 配置为接口板加倍),所

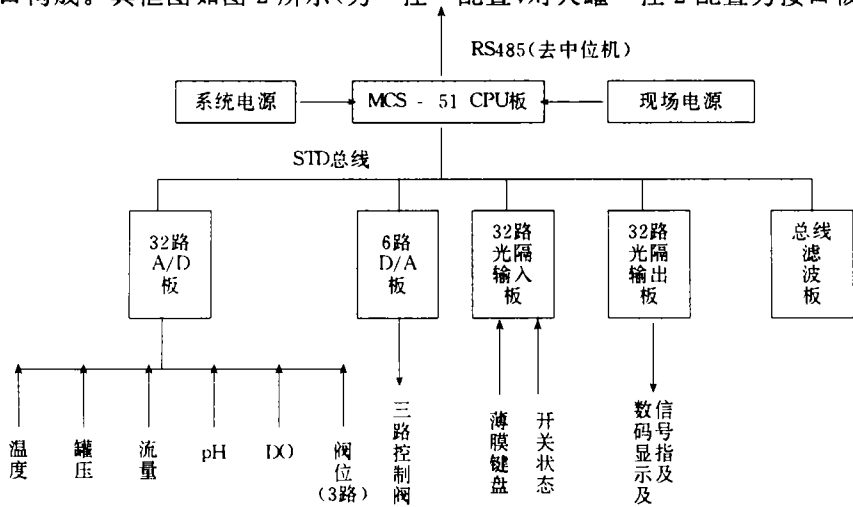


图 2 下位机硬件构成示意图

有的工控机均采用专门设计的薄膜轻触按钮面板及专用显示板。

在硬件配置上采用带信号数显及阀位指示的四回路手操器,用带指针式电位器实现调节阀的软手操,使系统具有手/自动控制功能。

2.2 下位机系统功能

下位机控制可达到如下功能:

- 1) 检测各罐的温度、罐压、流量、溶氧(DO)、pH、搅拌功率、尾气 O_2 及 CO_2 等,其中前4个参数为控制参数。
- 2) 发酵罐控制有定值PID及曲线时间控制功能,流量和罐压回路采用智能模糊PID控制,各回路均具有越限报警功能。溶氧则通过流量和罐压调节来实现自动控制。
- 3) 可在线监视、设定、修改控制参数设定值、PID参数及曲线参数和报警上、下限。
- 4) 显示参数可定显或巡显,定显时参数可变,巡显时巡显周期可调。
- 5) 各模块及控制回路具有上电自诊断、自检及故障报警功能。
- 6) 可实现手/自动控制、定值/曲线控制的无扰动切换。
- 7) 有实时钟及发酵消毒时间定点显示,并具有断电保护及整月数据存储功能。
- 8) 与中位机可实现主从式通信,并可脱机独立运行。

2.3 下位机软件设计

下位机软件采用MCS-51汇编语言编写,采用模块、结构化的设计方法。下位机系统软件分成三大部分:系统管理模块、控制模块及通信模块。各模块之间采用MCS-51 CPU中的位标志进行状态传递。在系统管理模块中又分为:初始化、系统诊断、显示、按键处理、故障报警等子模块,而控制模块又分为A/D采样及运算滤波,参数计算处理、输出控制、数据存储等子模块。系统根据运行按键及中位机指令分别运行有关模块,其框图如图3所示。

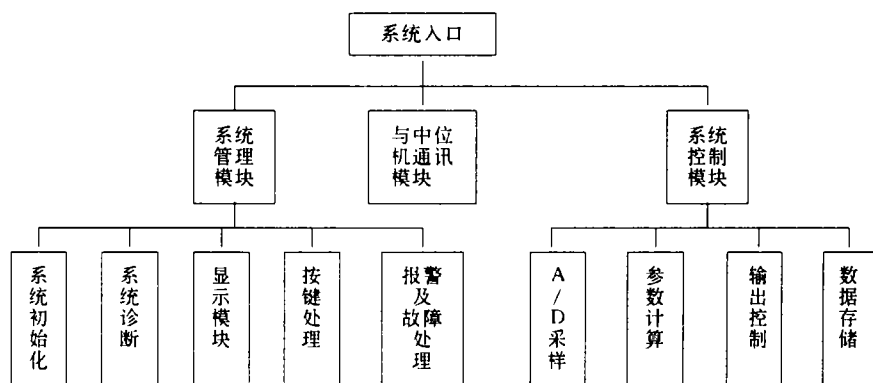


图3 下位机系统软件框图

2.4 控制算法设计

2.4.1 温度控制 柠檬酸发酵过程是一个复杂的生化反应过程,发酵温度必须严格按工艺要求进行。此发酵属兼性好氧发酵,发酵过程释放热量,因此温度控制显得尤为重要,应考虑如下情况:

- 1) 间接降温的滞后时间较长,对象的时间常数大,易产生超调。
- 2) 发酵过程的不同阶段,产生热量的速率不同,对象模型参数变化较大,而参数的辨识又较为困难,冷却水流量与温度关系无法精确测定。实际上,由于热交换速度取决于对流

温差导致了不同阶段其滞后时间的不同。

这些问题表明,通常 PID 不能满足控制要求,Smith 预估控制也不能解决滞后不定的问题。基于自适应控制思想的自适应 PID,对于参数慢变化系统是较为理想的选择。具体做法是先根据发酵的不同阶段,分段整定 PID 参数,再将各段参数固化于控制站内,这种方法虽然达不到最优,但实际效果是理想的。另外发酵过程有时偏差较大,控制易产生超调和积分饱和,原因是积分作用过强,为此,人为设置一偏差函数 $f[e(k)]$

$$f[e(k)] = \begin{cases} \frac{A - |e(k)|}{A} & |e(k)| \leq A \\ 0 & |e(k)| > A \end{cases}$$

式中 A 为定值, $e(k)$ 为偏差。

将 $f[e(k)]$ 引入 PID 算式得

$$u(k) = K_p \left[e(k) + \frac{T}{T_i} \left(\sum_{i=0}^{k-1} e(i) + f[e(k)]e(k) \right) + \frac{T_D}{T} (e(k) - e(k-1)) \right]$$

使积分速度在 $\frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^{k-1} e(i)$ 和 $\frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^k e(i)$ 之间变化,偏差大时削弱积分作用,反之则加强。

2.4.2 压力和流量控制 工艺要求罐压和流量稳定,超调小,罐压由进气调节阀的开度控制,尾气流量则由出气调节阀的开度控制。两个回路之间相互关联。出气阀开大,则罐压下降,流量加大,如要维持罐压不变则需加大进气量。若罐压上升,则一方面进气需减少,另一方面也会引起出气量加大,即同时减少出气流量,两者最终得到平衡。一般来说,采用常规 PI,其控制质量较差,难于稳定,易失控及振荡,有较大的超调。因此在这二个控制回路中引入模糊控制概念,即将二者的相互影响适当量化,存入计算机内,实时控制时,先根据经验整定两组 PI 参数,注意将二者的频域拉开,然后对系统的影响(即 P,Q)进行监测,根据预定的步骤和指标进行模糊推理,自动对 PI 参数超前修正,其框图如图 4 所示。

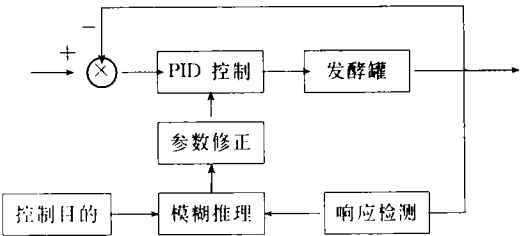


图 4 模糊控制策略框图

实施该控制方案后,基本上消除了压力和流量回中路的耦合联系,调节效果是满意的。图 5 是 Q 由 $450\text{m}^3/\text{min}$ 变化到 $650\text{m}^3/\text{min}$ 时 P , Q 的响应曲线,图 6 是 P 由 0.1MPa 变化到 0.08MPa 的响应曲线。

2.4.3 溶氧的控制 根据工艺要求,对溶氧回路进行 8 段定时控制,即在整个发酵过程中,定时自动变化罐内的溶氧值。影响罐内物料溶氧值的主要因素有细菌需氧量、通风量 Q 、罐压及搅拌器转速。其中发酵不同阶段细菌需氧量由实验确定,是不可控因素。而搅拌器转速也是定值,因此可控因素为通风流量和罐压。根据工艺条件要求,罐压尽可能稳定,此时流量仪表误差小,因此溶氧控制采用定罐压情况下的溶氧串级 PID 模糊控制,将流量控制作为副控回路,溶氧作为主控回路,其框图如图 7 所示。

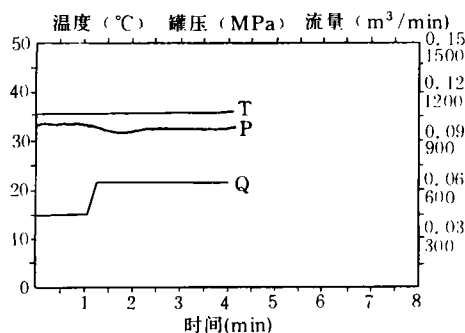


图 5 P, Q 的响应曲线

(Q 由 450 到 650 m^3/min 时)

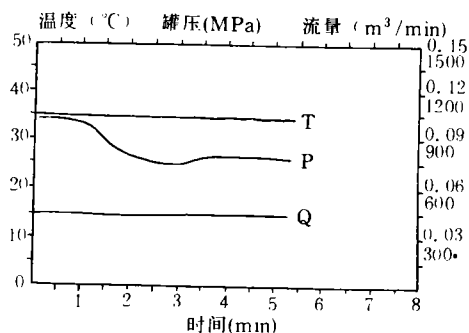


图 6 P, Q 的响应曲线

(P 由 0.100 到 0.080 MPa 时)

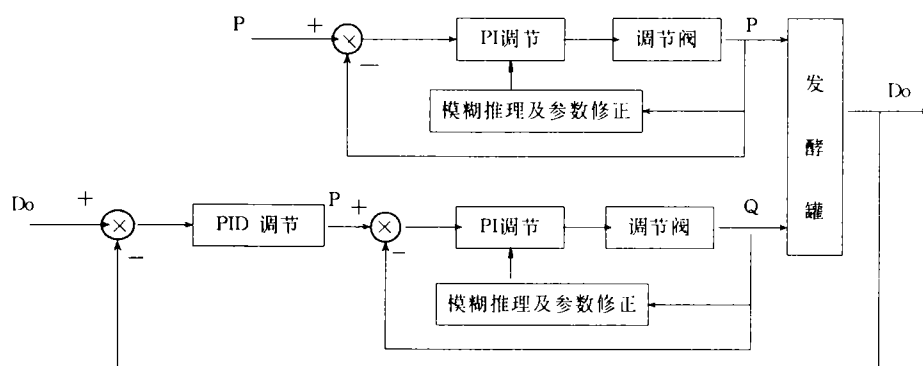


图 7 溶氧控制框图

3 中位机软硬件设计

3.1 中位机硬件构成及软件功能

中位机采用研华 PC 总线 386 工控机和一块 PCL-745 卡(双 RS422/485 卡)和下位机构成 1 对 14 的主从式双向 RS-485 通信网络,另一端口接成 RS-422 方式与上位机通信。

中位机软件可实现如下功能:

- 1) 在线监视下位机控制参数,具有在线修改、设定下位机控制参数、报警参数的功能。
- 2) 实时采集下位机各个参数,具有在线及离线参数分析功能。
- 3) 多种图形屏幕显示及中文显示提示及在线帮助功能。
- 4) 具有组态及优化功能。
- 5) 可根据上位机要求,向下位机索要数据及指挥下位机工作。

3.2 中位机软件设计

中位机软件在 UC DOS 汉字系统支持下,利用 Turbo C 进行软件编程。采用 C 语言编程具有用户界面好,编程方便,执行速度快的优点。在菜单设计中全部采用图形加中文显示的设计方法。

软件采用模块化的设计,根据功能将软件分为:参数设定模块;数据采集及显示模块;数

据分析模块,报表打印模块;系统优化模块及系统维护模块。其框图如图8所示。

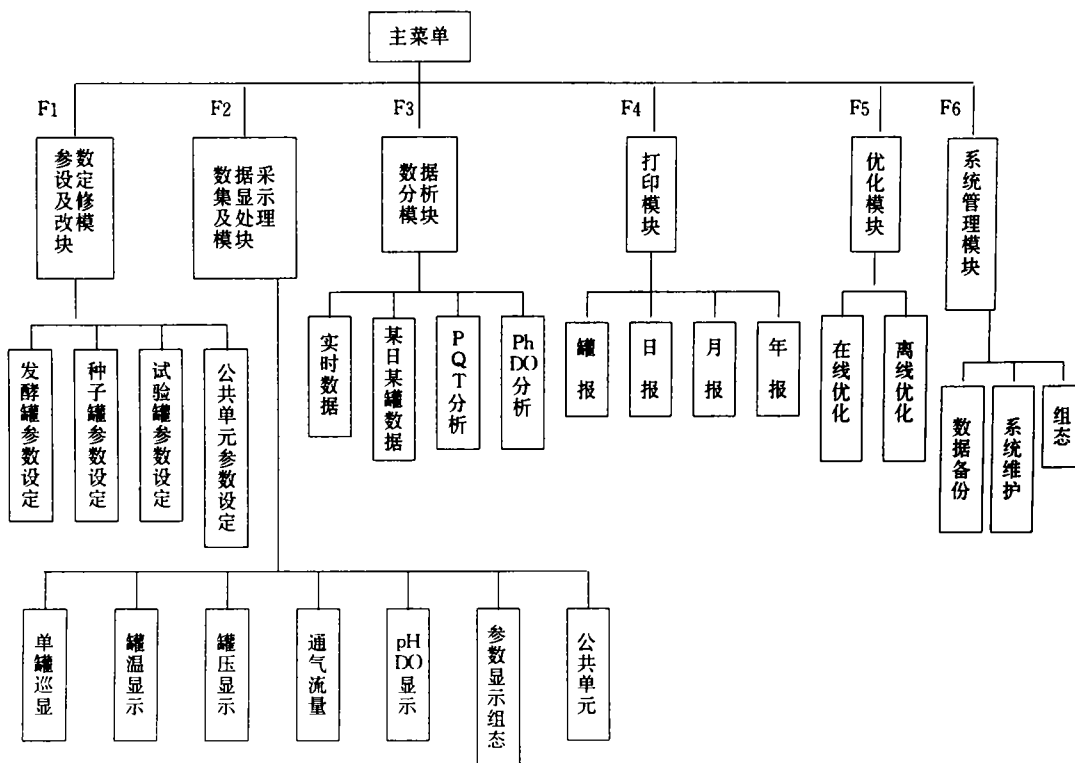


图8 中位机软件框图

软件设计中,以上位机命令优先,除参数设定模块外,其余模块均在响应上位机中断请求后,再执行中位机程序。并在优化模块中设计了动态跟踪及优化控制模块,一方面实时用曲线跟踪下位机采集的各罐实时参数,另一方面,利用经验优化模型或统计优化结果对发酵过程各参数进行优化,修改下位机各设定值,以达到优化控制。

3.3 上位机软件设计

上位机采用AST PⅢ-386 DX/33,其软件采用Turbo C和Foxpro混合编程的办法。完成除了中位机参数设定以外的全部功能,并利用数据库技术,对发酵数据进行管理、分析。并与公司MIS系统联网。采用汉化技术,利用图形加下拉式菜单完成上位机软件用户界面的设计。

3.4 集散系统通信软件设计

中位机和下位机间采用RS-485接口的主从式通信。系统采用9600波特率交换数据,各从机(下位机)只与主机(中位机)交换信息,并在通信中用握手方式进行中位机与下位机的联络。首先由中位机发送机号,机号采用9位方式与下位机一致,当下位机接收机号后,与本身机号比较,如相同则响应并回送一机号,否则退出通信模块。中位机接收到回送机号后,再发送数据约定码,下位机接收到约定码后,再发送或接收数据。数据查错采用异或和的校验方法。在数据发送完后,再由中位机或下位机发送一校验码,接收方检查后如正确则通信结束,否则要求对方重发,其框图如图9所示。

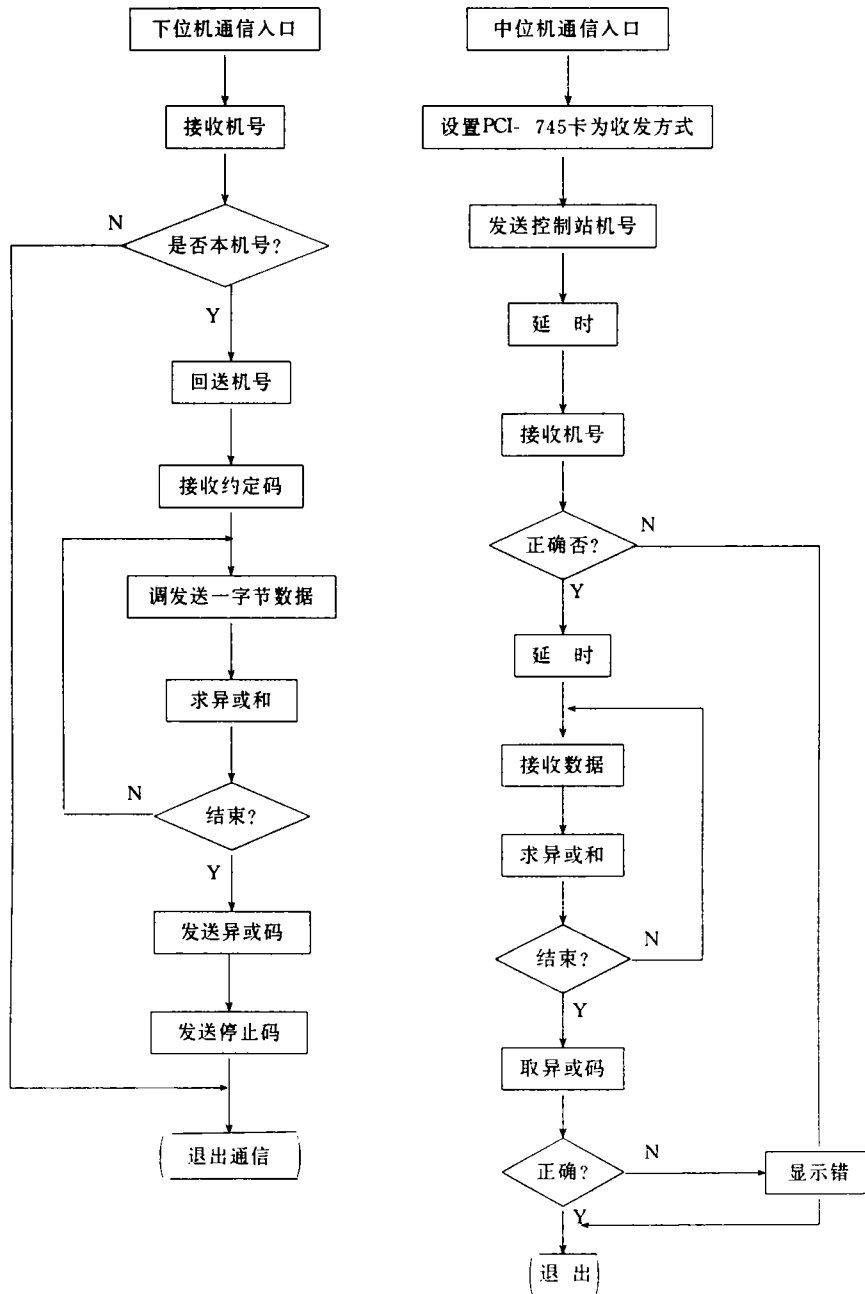


图9 中位机与下位机通信框图

4 提高系统的可靠性措施

4.1 硬件故障自诊断技术

系统对关键的硬件设备如CPU板、A/D、D/A、I/O等均采用上电自检、定时自检、键控自检相结合的自诊断技术,及时发现系统故障,保证控制精度,以避免系统带病运行。其中包括外部传感器的好坏,在上电时进行检测。

4.2 硬件隔离技术

由于现场搅拌电机功率每台达115kw,其启停对计算机将产生极大的干扰,因此在计算机供电系统中采用电源交流稳压及多级双LC滤波及隔离技术,将干扰降低到最低限度,同时采用硬件看门狗防止系统死机。

4.3 软件抗干扰技术

当CPU本身受到干扰,程序计数器PC因干扰而改变内容时,CPU将不能按正常状态执行程序,从而引起混乱,即程序“跑飞”现象,因此在软件设计中采用了一系列方法:

1) 指令冗余。在关键的转移、子程序调用及某些至关重要的指令前,首先加入多条NOP空操作指令,然后将有关指令冗余一次,以保证程序被正确执行,减少跑飞次数。

2) 采用软件陷阱。在EPROM非程序区及程序中断点后设置软件陷阱,当程序跑飞进入该区时,强行将捕获的程序引向出错处理子程序入口,在出错子程序中加入系统恢复程序,使程序自动卷回到跑飞点继续执行。

3) 软件 Watchdog。在指令冗余及软件陷阱均无效时,程序跑飞或进入死循环,设计了一定定时器作为程序运行监视,一旦出错,则能发生中断,使系统恢复。

4) 中位机软件设计中加入通信对下位机控制参数的设定值,报警值及PID参数进行实时监视,如发生异常,则自动恢复正常设定值以保证系统正常工作,特别是避免通风量为零的闷罐现象。

参 考 文 献

- 1 周航慈. 单片机应用程序设计. 北京航空航天大学出版社,1991
- 2 何立民. 单片机应用系统设计. 北京航空航天大学出版社,1990
- 3 马启文. 微机最优控制应用技术. 北京希望电脑公司,1992
- 4 金以慧. 过程控制. 清华大学出版社,1993

A Computer DCS System of Citric Acid Fermentation

Xu Wenbo Xu Ling Liu Fei Pan Feng

(Dept. of Auto.)

Abstract A computer DCS for citric acid fermentation has been introduced in this paper. The design method of system hardware and software and reliabilities is mentioned.

Subject-words Control systems; Distribution computer; Fermentation; Fuzzy control/Distributed control system; Design of control method