文章编号: 1008-1542(2005)03-0237-04

间歇式反应釜智能型温度控制器的研制

沈英才, 刘朝英, 宋雪玲

(河北科技大学电气信息学院, 河北石家庄　050054)

摘　要: 反应釜是化工类生产过程中的重要设备, 笔者针对其在不同生产工艺反应过程中的共同特点, 研发出 1 种简单且行之有效的控制方法: 以单片机为核心, 采用微电子技术、扩大量程自诊断法、相关自诊断法、自校正及抗干扰技术; 由时间最优、预估、PID, Bang-Bang 基本控制规律组成复合控制算法; 根据偏差和偏差变化率自动切换执行不同的算法; 采用汇编语言编程。

关键词: 自动控制; 单片机; 反应釜

中图分类号: TP273　　文献标识码: A

Invention of intelligent temperature controller of intermittent reaction vessel

SHEN Ying-cai, LIU Chao-ying, SONG Xue-ling

(College of Electronic Engineering and Information Science, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050054, China)

Abstract: Retort of chemical reaction (RCR) is very important and widely used in chemical industry. Here we present a simple and convenient way to control it, considering the common feature in many distinct production processes. The control of RCR is based on MCS-51 single chip microcomputer system, combining microelectronic, photoelectric and induction detection methods. We make use of time optimization, prediction, PID, and Bang-Bang control, to construct a mixed strategy. Control error and the rate of change of error decide which specific control method will work in time. Finally our intelligent RCR is realized by assembling language.

Key words: automatic control; single chip microcomputer; reaction vessel

反应釜是制药、轻工、树脂及化工类生产过程中的重要设备, 其操作通常是间歇式的。由于产品的直接质量指标难以在线检测, 因此通常选用间接参数(温度) 作为被控参数。对于不同的生产工艺和介质, 其反应温度、反应时间及反应阶段的段数存在很大的差异。例如, 氯乙酸生产工艺分为 3 个阶段: 第 1 阶段为升温阶段, 快速升温至 85 ℃; 第 2 阶段为反应阶段, 将釜内灵敏点温度控制在(85±1) ℃; 第 3 阶段为定速降温阶段。某生产工艺反应曲线见图 1, 该工艺由 9 个阶段组成, 阶段①、⑤快速升温; 阶段③定速升温; 阶段②、④、⑥、⑧恒温; 阶段⑦、⑨快速降温。

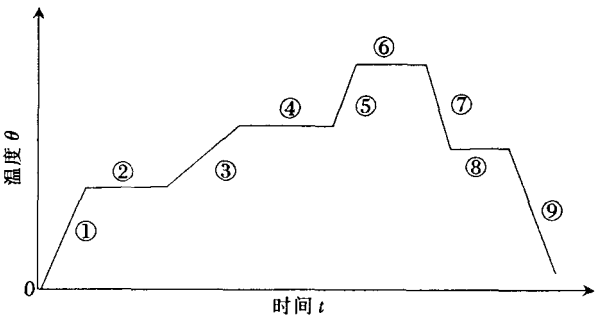

图 1　某生产工艺反应曲线

Fig. 1　Reaction curve of some production process

收稿日期: 2005-02-27; 修回日期: 2005-04-14; 责任编辑: 冯　民

基金项目: 河北省科技厅基金资助项目(95213207D)

作者简介: 沈英才(1950-), 男, 河北沧州人, 副教授, 主要从事自动控制和计算机控制方面的研究。

尽管不同生产工艺或介质其反应温度、反应时间、反应段数存在较大的差异,并且整个反应过程对温度有严格而不同的程序要求,但仍然可以找到它们的共同点:其一,整个反应过程可以分为若干升温、恒温、降温 3 种基本阶段,对升温和降温速率有所要求;其二,反应釜内温度容量滞后大。因此,只要抓住这 2 个共同的特点,就可采用微电脑技术和预估、时间最优、积分分离等基本控制组合成不同的复合控制,实现通用型反应釜的控制。

1 硬件设计

1.1 主机电路[1~3]

以 Intel8031 为核心,分别扩展 1 片 EPROM27C256(固化程序)、E^2PROM28C64(存放设定参数及保护重要参数)和 RAM62C64,数据总线和控制总线采用 74LS245 和 74LS125 驱动。设计了上电复位和单稳看门狗电路。

1.2 过程输入输出通道

过程输入输出通道由高精度热电阻测量桥路、低漂移放大电路、8 路模拟量输入、2 路模拟量输出和 4 个开关量组成。过程量采用光电耦合电路与主机隔离,以提高系统的抗干扰能力。

8 路模拟量输入电路由多路开关 MC14051、V/F 芯片 AD651AQ[4]、光电耦合和 8031 的 T1(P3.5)构成。将 8031 的 T1 设置成 16 位计数非中断方式。由 T0 中断服务程序定时读取 T1 值(即 A/D 转换的数字量),然后清 T1。AD651AQ 在 100 kHz 满刻度下最大非线性误差为 0.005%;最大漂移 25 PPM/℃。若按 12 位分度,则最大相对误差≤0.028%。

2 路模拟量输出电路由 Intel8255A、光电耦合、ADC0832 芯片和 V/I 电路构成。

1.3 显示键盘电路及袖珍键盘设计

显示操作面板见图 2。键盘显示电路由 14 个八段 LED 数码管、7 个 LED 状态显示和 8 个按键组成。LED 数码管显示电路采用软件译码动态扫描,14 个 LED 数码管分上下 2 排,每 2 个数码管共用 1 个位选锁存器、驱动信号,同时位选信号与按键连接,单片机的 P1.5 作为按键的扫描信号。袖珍键盘采用 4×4 非编码矩阵结构,它与操作面板上的按键功能定义相同。区别仅在于它的快速性(袖珍键盘采用十进制输入参数,而操作面板上的按键采用电子表输入方法)。设定或修改重要参数需要口令保护,重要参数存放在 E^2PROM28C64内,因此,操作人员的误操作不会影响生产的正常进行。

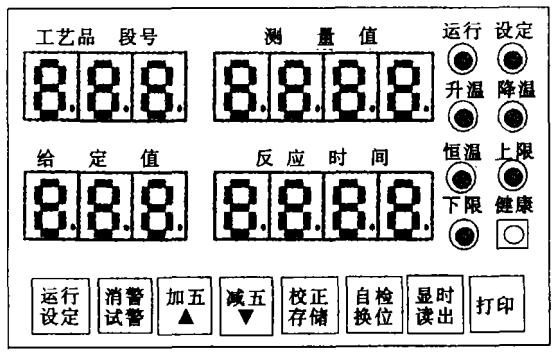

图 2 操作显示面板示意图

Fig.2 Schematic diagram of operation control panel and LED

另外设计 TPμP-40 微型打印机和标准的普通打印机接口(2 种打印机可选择);有 1 片 MC146818 时钟芯片,外接 3.6 V 锂电池供掉电时备用,掉电保护功能是靠 MC146818 内部 RAM 实现的;8031 串口留作与上位机通讯。

2 软件设计

程序采用自顶向下设计方法及模块结构,包含监控程序、动态扫描显示、键扫描、键译码、打印、采样、标度变换、控制算法等模块。由于显示采用低功耗最简电路(省去字型驱动和限流电阻),为了保证显示器的亮度,编程过程中在优先保证控制程序(放在中断服务程序中)和必要的程序执行的前提下,尽量多的时间执行显示子程序;对复杂运算采用查表技术;需要软件延时则通过调显示子程序实现;其他如打印程序、键盘消抖、E^2PROM 写入等均采用调显示子程序。这样不仅保障了显示器的亮度,又能简化硬件电路。

2.1 控制算法[5]

采用了预估、时间最优、积分分离等几种基本算法,由此组合成复合型控制,从而使系统满足对给定值变化具有最大响应速度、临界的非周期振荡、无余差的要求。计算机根据偏差以及偏差变化率的大小自动地选择不同

的控制程序。当偏差及偏差变化率较大(即在快速升温或快速降温阶段) 时, 其控制目的是要尽快地将被控参数拉回到给定值, 即要求有最大响应速度, 此时控制器对任何可测量的偏差输入都应饱和; 当偏差减小并接近给定值时, 采用低增益和微分作用来实现临界的非周期振荡, 使响应逐渐地趋近给定值, 同时, 控制器具有积分作用, 满足了消除静差的要求。此外, 在小信号时, 采用低增益, 可实现对外界干扰的抑制。复合型控制算式的简单框图见图 3。

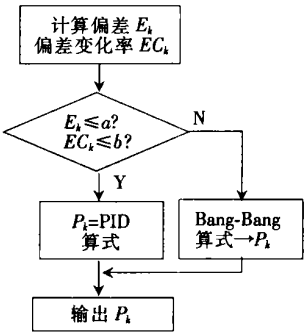

图 3　复合控制框图

Fig. 3　Mixed control strategy

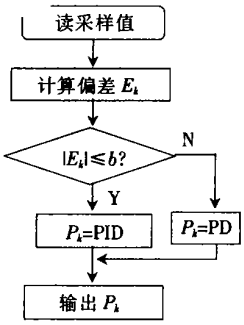

图 4　积分分离 PID

Fig. 4　Mixed PD and PID strategy

例如, 在快速升温(或快速降温) 反应段采用时间最优控制系统的目标函数为 $J=\int \mathrm{d}t = t - t_0$。由于其过程的传递函数可近似为一阶加纯滞后的环节, 所以可表示为

$$G(s)=\frac{K_P e^{-\theta s}}{(T_s+1)}。$$

由模型算法可得切换时间 t_f 的计算公式: $t = \theta \ln \frac{r_0 K_P - k}{r_i K_P - k} = \theta \ln \frac{r_0}{r_i} (r < r_0)$。

在恒温阶段, 由偏差的变化律自动地调整 3 个控制区域(即门限值) 。不同的区域采用不同的控制算法, 将被控参数尽快的拉回到本区域内。在最内层控制区域引进积分作用以便消除静差, 程序框图见图 4, 其控制算法表示为

$$P_k = P_{k-1} + K_P(E_k - E_{k-1}) + K_I E_k + K_D(E_k - 2E_{k-1} + E_{k-2}), |E_k| \leqslant b,$$

$$P_k = P_{k-1} + K_P(E_k - E_{k-1}) + K_D(E_k - 2E_{k-1} + E_{k-2}), |E_k| > b,$$

式中: b 为积分分离门限值; P_k 为第 k 次控制器输出; E_k 为第 k 次偏差。

2.2　温度给定值算法

本控制仪允许用户随时设定 8 个工艺流程, 每个工艺 1~ 15 段, 在设定参数时, 用户只要给出每段的始点、终点温度值(某段终点温度值即下一段的始点温度值) 及反应时间, 软件则自动识别快速升温、定速升温、恒温、定速降温、快速降温。温度给定值算法表示为

$$R_k = r_i, \qquad r_i = r_{i-1},$$

$$R_k = R_{k-1} + (r_i - r_{i-1})/t, \qquad r_i \neq r_{i-1},$$

式中: r_{i-1} 为第 i 段始点温度值; r_i 为第 i 段的终点温度值; t 为第 i 段所需时间; R_k 为第 k 次温度给定值; R_{k-1} 为第 $k-1$ 次温度给定值。

3　自诊断及抗干扰措施[6]

3.1　抗干扰措施[2]

硬件设计了“看门狗” 电路, 当“死循环” 时, 使 PC= 0000H; 过程通道采用光电隔离技术; 印刷电路板设计充分考虑到布线电容问题, 大规模集成芯片电源之间接电容; 模拟地与数字地一点相连; 测量桥路采用高精度电源; 选用低漂移运算放大器等等。

软件采用指令冗余, 在各个程序模块间和程序中适当连续加入几条 NOP 指令以防止程序“ 乱飞”。采用软件陷阱和“ 软看门狗” 技术, 在未使用的程序和数据存储区内设置了软件陷阱, 一旦 PC 进入该区域, 由“ 软看门狗” 使其恢复到正常位置。

3.2　系统自诊断及自校正

故障诊断程序采用扩大量程法来判断模拟量输入通道传感器至单片机各个部分电路是否正常; 采用间接参数判断法判断模拟量输出通道是否正常; 当出现故障时提示故障信息[7, 8]。

模拟量输入通道设计了 1 路基准自校正电路, CPU 定时读取其数值, 用以判断运算放大器及有关电路零点漂移及稳定性等是否在允许的范围内。一旦超出允许范围则由校正算法程序对采样值进行修正。

3.3　控制器的测试

本控制器经省法定权威部门进行全面测试, 其温度检测部分的测试数据见表 1。表 1 所用测试仪器, 电阻箱型号是 ZX38, 精度 0.1 级; 标准表 XQJ 型高精密电桥, 准确度 5/10^5。测试结果表明该控制器最大相对误差为 0.028%, 测量精度优于 0.035 级, 变差为 0。如此之高的测量精度完全出乎预料, 其他各项技术指标也均优于设计指标。

表 1 控制器测试数据

Tab.1 Test data of controller

电阻箱示值/Ω	检测点温度/℃	标准表电阻示值/Ω	控制仪上行示值/℃	控制仪下行示值/℃	检测点误差/℃	检测点变差/%
100.00	0	100.002	0	0	- 0.01	0
119.40	50	119.396	49.9	49.9	0	0
138.50	100	138.495	100.0	100.0	+ 0.01	0
157.31	150	157.305	150.0	150.0	- 0.01	0
175.84	200	175.837	200.1	200.1	+ 0.10	0
194.07	250	194.067	250.1	250.0	+ 0.10	0
212.02	300	212.030	300.1	300.1	+ 0.08	0
229.67	350	229.676	350.0	350.0	- 0.02	0

4 主要特点及功能

其主要特点是测量精度高、控制误差小、性能稳定。其主要功能是可实时显示日期、时间、工艺号、段号、反应时间、给定值、测量值以及工况状态; 可定时或随机打印日期、时间、工艺号、段号、反应时间、给定值、测量值以及工况状态; 可以在线设定或修改 8 个生产工艺流程及上述参数, 一旦设定则长期保存; 可以从任意工艺的任意一段开始运行; 掉电后能够保留掉电前的瞬间工况状态, 重新上电可以继续掉电前的瞬间工作; 操作人员的误操作不会影响生产的正常进行。

5 结 论

该控制器性能稳定, 经多年现场运行从未发生过任何故障, 它的使用缩短了生产周期、降低了能源消耗、提高了产品质量, 并取得了明显的经济效益和社会效益。实践表明该控制器测量精度高、控制误差小、抗干扰能力强、操作界面较好、易操作。该控制器不仅适用于各种已定型成熟的工艺生产过程, 更有利于尚未成熟的新生产工艺和新产品的开发试验控制, 为新生产工艺和新产品定型提供科学依据。该控制器的模拟输入通道电路在不作任何变动的情况下, 只要对标度变换程序稍加改进, 则可以制作成测量精度达 0.01 级的标准数字测量仪表。

参考文献:

[1] 张毅刚, 彭喜源. MCS-51 单片机应用设计[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1997.
[2] 王辛之. 单片机应用系统抗干扰技术[M]. 北京: 北京航天航空大学出版社, 1999.
[3] 何利民. MCS-51 系列单片机应用系统设计系统配置与接口技术[M]. 北京: 北京航天航空大学出版社, 1990.
[4] 沈英才, 刘朝英. 分辨率可编程的高精度 A/D 转换电路[J]. 河北科学院学报, 1997, 14(2): 18-21.
[5] 喜裕庚. 预估控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.
[6] 赵新民. 智能仪器原理及设计[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996.
[7] 沈英才, 刘朝英, 宋雪玲. 智能仪表的几种程序自检方法[J]. 河北工业科技, 2004, 21(4): 37-39.
[8] 沈英才, 刘朝英, 宋雪玲. 计算机测量控制系统的自诊断方法[J]. 计算机测量与控制, 2004, 12(11): 1 043-1 045.