

基于单片机的循环水水质分析控制系统的实现

赵羽佳, 梁秀霞, 袁 永, 张 强, 王 萌

(河北工业大学 控制科学与工程学院, 天津 300130)

摘要: 针对酸性循环水中的中和液浓度波动大及中和反应的严重滞后等问题, 提出了一种以 MCS-51 单片机为核心的循环水水质分析控制系统解决方案; 阐述了循环水控制系统的工艺流程、串级控制和增量式 PID 算法的应用; 详细介绍了控制系统的硬件构架与外围硬件电路, 设计了一种快速、稳定的 PH 值控制系统; 和传统的循环水水质分析控制系统相比, 在具有较强的数据处理的同时, 还具有较小的体积和较低的功耗, 数据显示简明易懂等特点; 本系统以电石渣液作为中和液, 达到以废治废的目的; 而且在不同条件下进行试验, 都能在 20 s 至 25 s 内完成一周期的中和反应; 实际测试结果表明: 各个模块设计合理, 整个系统运行稳定, 响应速度快。

关键词: 循环水; 串级控制; PH 值; 单片机

Circulating Water Quality Analysis and Control System Based on MCU

Zhao Yujia, Liang Xiuxia, Yuan Yong, Zhang Qiang, Wang Meng

(School of Control Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract: For acidic liquid circulating water concentration fluctuations and neutralization reactions serious lag and other issues, this paper puts forward a MCS-51 microcontroller core circulating water quality analysis control system. Article explains the process control system circulating water, cascade control, and incremental PID algorithm application. Introduced the hardware structure of the control system and peripheral hardware circuit, design a kind of fast, stable PH value control system. Compared to the traditional analysis of the quality of circulating water control system, the presented system has strong data processing ability, but also has small volume and low power consumption, according to characteristics of simplicity. And through the test under different conditions, it can finish a cycle in the 20s to 25s neutralization reaction. The actual test results showed that: rational design of each module, the entire system is stable, fast response.

Keywords: waste water; cascaded control; PH value; single chip machine

0 引言

目前水污染日益严重, 水源逐渐紧张, 循环水处理的界限也就逐渐模糊起来。现在, 循环水也可以作为水源, 经处理后以供工业用水甚至生活用水。但目前处理循环水的核心问题就是控制 PH 值。针对酸性循环水中和过程中的中和剂浓度波动大及中和反应严重滞后的问题, 提出采用串级调节系统对中和过程进行控制, 内环控制电石渣液的流量, 外环控制 PH 值, 并具有报警和显示功能。控制系统以电石渣液作为中和液, 达到以废治废的目的, 实现安全排放的目的, 减少对环境的危害, 并在文章最后给出实验测试数据与结果。

1 循环水水质控制系统工艺流程

本控制系统是以 MCS-51 单片机为核心, 通过流量传感器和 PH 值传感器来实时检测与采集电石渣液流量与循环水的 PH 值, 信号采集后, 送入单片机, 经程序处理后采用电磁阀来调节电石渣液的流量。通过中和法将循环水中和, 从而控制混液池内循环水的 PH 值。待混液池内的循环水的 PH 值进入了合理的误差带内, 系统将控制排水口处的电磁阀将混液池内循环水排出。此过程中, 通过数码管显示当前检测的 PH 值。

图 1 是循环水水质分析控制系统的工艺流程。

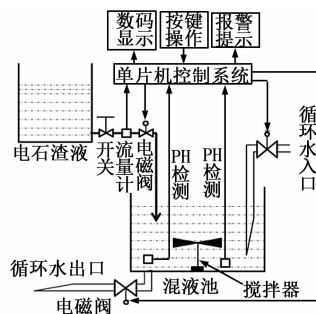


图 1 工艺流程图

2 硬件结构

系统的硬件分为: 最小系统的设计, 输入/出通道的设计, 电磁阀的设计, 键盘/显示电路的设计, 报警电路的设计五部分。

系统设计方案如图 2 所示。

本控制系统采用的芯片为 89C51 型号单片机, 它是一种带 4 k 字节闪烁可编程可擦除只读存储器 (FPEROM—Falsh Programmable and Erassble Read Only Memory) 的低电压, 高性能 CMOS8 位微处理器。

89C51 的主要性能包括:

- (1) 与 MCS-51 微控制器系列产品兼容;
- (2) 片内有 4 kB 可在线重复编程的闪烁存储器 (Flash Memory);
- (3) 存储器可循环写入/擦除 10 000 次;
- (4) 存储器数据保存时间为 10 年;

收稿日期: 2014-03-12; 修回日期: 2014-04-23。

作者简介: 赵羽佳(1988-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事智能检测与智能系统方向的研究。

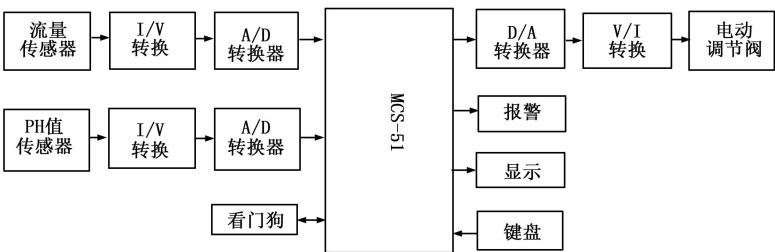


图 2 方案设计框图

- (5) 宽工作电压范围: V_{cc} 可为 $+2.7\sim+6\text{ V}$;
- (6) 全静态工作: 可从 $0\sim16\text{ MHz}$;
- (7) 程序存储器具有 3 级加密保护;
- (8) 空闲状态维持低功耗和掉电状态保存存储器的内容^[1]。

通过流量传感器和 PH 值传感器采集流量和 PH 值、经过 I/V 变换、A/D 转换器将采集的模拟信号转换成数字信号后送入单片机, 经过单片机分析计算后输出信号, 再经过 D/A 转换器、V/I 变换送入电动调节阀, 以此来控制电石渣的流量, 以此控制 PH 值是否达到设计要求的给定值 ($\text{PH}=7$ 左右)。同时在设计中我加入了键盘显示, 看门狗以及报警电路, 以保证系统的稳定性和安全性。

这里只从整体上介绍系统硬件总体结构, 为了更详尽的了解系统各部分的功能和工作原理, 下面将分别对几个重点模块进行分析。

2.1 看门狗电路的设计

MCS-51 的 PC 受到干扰而失控, 引起程序乱飞, 可能会使程序陷入死循环。指令冗余和软件现今技术不能使失控的程序摆脱死循环的困境, 这时候系统将完全瘫痪。看门狗电路用于使 CPU 摆脱死循环状态。

MCS-51 与 MAX690A 自动监控的接口如图 3 所示, 合理设计 R_9 、 R_{10} 的值, 使得 $+5\text{ V}$ 电压跌落到某电压值 (如 4.5 V), PFI 端的输入电压低于 1.25 V 时 PFO 输出低电平, 作为 CPU 的中断输入信号通知单片机, 使之进行一些必要的处理 (如保存某些重要数据, 关掉 LED 显示器等)。 R_9 、 R_{10} 的选取原则是:

$$\frac{R_{10}}{R_9+R_{10}}=\frac{1.25\text{ V}}{4.5\text{ V}}=\frac{1}{3.6}$$

可取 $R_{10}=1\text{ k}\Omega$, $R_9=2.6\text{ k}\Omega$ 。当 $+5\text{ V}$ 电压跌落到 4.5 V 时 $\text{VR}=1.25\text{ V}$ 再继续跌落, PFO 引脚变为低电平^[2]。

MAX690 应用电路原理图如图 3 所示。

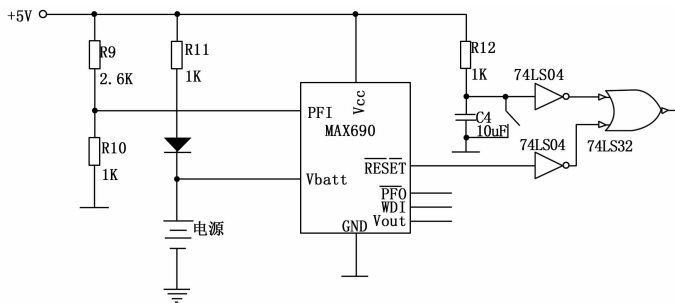


图 3 MAX690 应用电路原理图

单片机正常工作时, P1.0 口定时 (小于 1.6 s) 改变 WDI 输入端的电平, 使看门狗电路不发出复位信号。当由于某种严

重干扰而出现死循环时, 单片机将不能定期改变 WDI 端电平, 看门狗电路便会在 1.6 s 后产生一个复位信号, 使单片机复位。待经过 200 s 复位脉冲后, 单片机复位结束, 程序从 0000H 开始重新执行, 摆脱死循环, 保证了系统的正常运行。

图 3 中开关按钮为手动复位按钮, 由于 MAX690A 在系统上电时能自动发生复位信号, 可使手动复位按钮的复位时间小于 200 ms 。

2.2 报警电路的设计

本控制系统采用 LED 报警显示, 当被测量的循环水的 PH 值过小时 P1.4 为电平, 发光二极管发亮, 同时 P1.6 为高电平, 蜂鸣报警器鸣叫, 发出报警信号。报警电路如图 4 如所示。

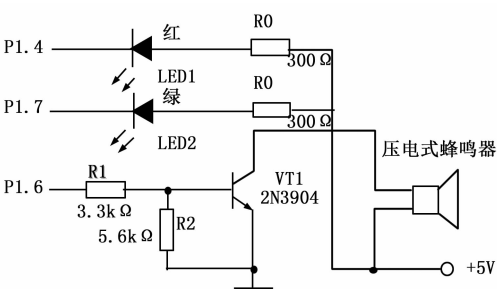


图 4 报警电路

2.3 电磁阀的设计

当通过电动调节阀的调节管道内液体的流量, 使中和后的废液的 PH 值稳定在 7 附近时, 这时就需要将循环水排放, 我们用电磁阀来控制这一过程。

本系统中采用 XT-09 型电磁阀, 接线图 5 所示。

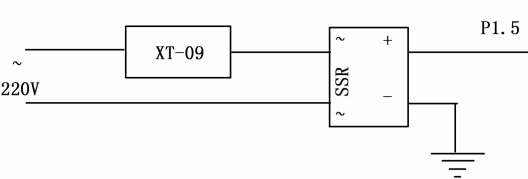


图 5 XT-09 接线图

2.4 其他硬件设备

由于篇幅有限, 有很多硬件模块无法在此详述, 故在表 1 中列出了本系统所用的其他硬件及其型号。

表 1 其他硬件设备型号清单

硬件名称	型号
流量传感器	CP27-LDG-DN25 型流量传感器
PH 值传感器	PHS-9300 型工业酸度计
I/V 变换器	RCV420 型 I/V 变换器
A/D 转换器	ADC0809 芯片
D/A 转换器	DAC0832 芯片
V/I 变换器	XTR110 型 V/I 变换器
电动调节阀	KVQJP 型电动调节阀
行列式键盘	74LS164 芯片
8 段 LED 显示器	

3 控制原理

3.1 控制算法

PID 控制是应用最广泛的控制规律之一, 计算机控制系统

采用数字 PID 控制器，由采样偏差来计算控制量。当执行机构需要的不是控制量的绝对值，而是控制量的增量时，需要用 PID 的“增量算法”。由位置算法求出：

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = k_p \{e(k) - e(k-1) + \frac{T_s}{T_i} e(k) + \frac{T_D}{T_s} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]\}$$

此式称为增量式 PID 算法。
对增量式 PID 算法归并后，得 $\Delta u(k) = q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2)$
其中：

$$q_0 = k_p [1 + \frac{T_s}{T_i} + \frac{T_D}{T_s}]$$

$$q_1 = k_p [1 + 2 \frac{T_D}{T_s}]$$

$$q_2 = k_p \frac{T_D}{T_s}$$

此时已看不出是 PID 的表达式了，也看不出 P、I、D 作用的直接关系，只表示了各次误差量对控制作用的影响。可以看出，数字增量式 PID 算法，只要贮存最近的 3 个误差采样值 $e(k)$ 、 $e(k-1)$ 、 $e(k-2)$ 就足够了^[3]。

3.2 总控制系统的选择

在酸性循环水中和过程中，电石渣液浓度的波动会对中和反应产生严重滞后的，针对这一问题，我们采用串级调节系统对中和过程进行控制。

- 串级控制器的作用为：
- (1) 抑制副回路的波动，改善调节对象的动态特性；
 - (2) 提高系统工作效率；
 - (3) 减少对象时间常数；
 - (4) 对负荷变化或操作条件改变的适应性比较强的特点^[4]。

在循环水水质控制系统中，内环控制电石渣液的流量，外环控制 PH 值。我们需要对流量和 PH 值同时进行检测和反馈，即双闭环反馈控制系统。图 6 为串级控制系统的原理图。

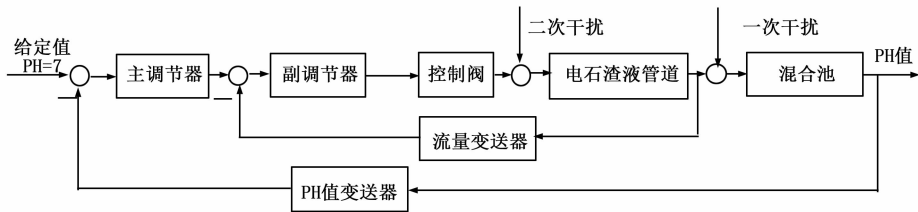


图 6 串级控制原理图

4 软件设计

本系统程序设计使用 C 语言编写。整个系统软件设计主要是对作为数据采集处理的单片机的软件设计。系统采用模块化编程，将各部分功能分别实现。主要的功能子程序有：定时中断服务子程序、流量检测子程序、PH 值检测子程序、控制及报警子程序、串口显示子程序、显示子程序和键盘子程序。

图 7 为本控制系统软件的主程序流程图。
系统开机进行初始化后首先开中断，随后进入键盘子程序。通过扫描键盘，判断是否需要输送废液。当需要输送废液时，延时 10 ms 输送废液，当有键按下时，判断闭合的键

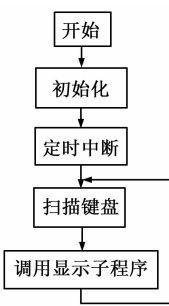


图 7 主程序框图

位，按键释放，计算得到键码，执行相应的按键功能。
执行显示子程序的时候，先将 PH 值存储区首址为显示数据缓冲区首址，调用显示子程序，接着延时 20 ms。流量数据的显示与 PH 值数据的显示方式一样。

5 实验验证

由图 1 所示的工艺流程图可知，检测点设置在搅拌器的附近。根据 Richter 等人提出的带强烈搅拌的中和反应可以近似为具有纯滞后的一阶惯性环节，并根据多次静态滴定曲线，发现在 PH=7 附近的较大范围内（PH=4~9）接近线性。^[5]由此确定在检测点出 PH 值 C 的数学模型的形式为

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{T_s s + 1} e^{-\tau s}$$

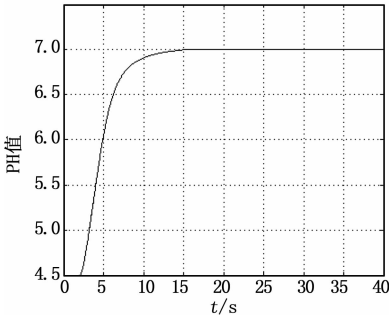


图 8 系统响应曲线

通过 MATLAB/Simulink 仿真可以得到如图 8 所示的仿真曲线。
图 8 中横轴为时间，纵轴为 PH 值。系统进入误差带的稳定时间为 15 s，系统可以在较短的时间内完成中和反应。所以只要设定好定时中断的时间常数，即可完成控制要求。

表 2 3 种相对流量 PH 值的测量数据对比

t (s)	ΔQ (ml/s) (指相对流量，即电石渣液流量减去循环水流量)								
	20	30	40	20	30	40	20	30	40
1	4.6	4.6	4.6	2.3	2.3	2.3	5.6	5.6	5.6
5	5.6	5.8	5.7	4.4	4.6	5.3	6.7	6.9	6.9
10	6.6	6.7	6.8	5.7	5.8	6.7	7	7	7
15	6.9	6.9	7	6.7	6.9	7	7	7	7
20	7	7	7	6.9	7	7	7	7	7
25	7	7	7	7	7	7	7	7	7

从表中结果可以看出,在信噪比高的情况下,生成数据目标距离精度较高,总体误差控制在 1%以内。

在测控软件中设定幅值为 4 V,调整信噪比 3~9,从示波器读出波形的 RMS 值,计算出实际幅值如表 2 所示。从表 2 可以看出,误差控制在 0.5%以内。

表 2 设定幅值和实际生成数据幅值比对

序号	设定幅值(V)	信噪比	RMS 值(V)	计算幅值(V)
1	4	3	1.30	3.90
2	4	5	0.79	3.95
3	4	7	0.57	3.99
4	4	8	0.51	4.08
5	4	9	0.45	4.05

5 结论

本文介绍了基于 USB 总线的机载激光雷达产品测试系统研制过程,主要完成了外场数据采集、静态动态目标模拟数据的生成、数据回放等功能,主要创新点如下:

(1) 测控计算机通过 USB 总线发送回波数据给激光雷达产品,保证了数据传输速度,且 USB 支持热插拔,提高了测试系统的灵活性。

(2) 目标模拟数据的信噪比可设,能够模拟不同环境干扰下的测距,为激光雷达产品在不同环境下的性能验证提供了保障。

目前该测试系统已经被应用于激光雷达产品开发时的调试测

试,能够满足实际需求。测试系统的研制为激光雷达产品的性能测试提供了模拟仿真环境,提高了产品开发的效率和灵活性。

参考文献:

- [1] Shahram Mohammad Nejad, Saeed Olyaei. Comparison of TOF, FMCW and Phase-Shift Laser Range-Finding Methods by Simulation and Measurement [J]. Quarterly Journal of Technology & Education, 2006, 1 (1): 11-16.
- [2] 马鹏阁,齐林,羊毅,等.机载多脉冲激光雷达目标模拟器的研究[J].光学学报,2012,32(1):1-6.
- [3] 马鹏阁,金秋春,柳毅,等.新型机载多脉冲激光雷达目标模拟器[J].红外与激光工程,2012,41(8):2068-2072.
- [4] 苏美开,陈志斌.脉冲激光测距机测程指标的自动快速检测[J].火力与指挥控制,1999,24(1):78-81.
- [5] 王茜蓓,曾嫦娥,彭中.脉冲激光测距机性能综合测试技术[J].强激光与粒子束,2010,22(9):1973-1976.
- [6] 谭里裕.脉冲激光测距仪最大测程与消光比研究[J].红外与激光技术,1990,(3):13-16.
- [7] 胡宾鑫,张梅,殷祖涛.激光测距机测程模拟检测系统的设计已实现[J].计算机测量与控制,2008,16(5):619-623.
- [8] 曾嫦娥,王茜精,常岗,等.脉冲激光测距机最大测程测试方法研究[J].红外与激光工程,2005,34(6):664-668.
- [9] 许曼妮,朱晓.基于 VC++ 实现激光功率/能量计串行通信控制[J].激光杂志,2007,28(5):74-76.
- [10] 邱瑞阳,方方,周伟,等.基于 CAN/USBA 总线的测氧仪多道数据采集系统[J].核电子学与探测技术,2012,32(5):595-597.

~~~~~

(上接第 2120 页)

通过实际的实验,来验证控制系统对循环水 PH 值的调节效果。表 2 为实验数据。

数据表明,相对流量相同的情况下,起始 PH 值不同,在 20 s 内也能完成中和反应;在起始 PH 值相同的情况下,若相对流量大,则完成中和反应的时间也会变短。所以将时间设定为 20 s 或者 25 s 即可完成一周期的中和反应。

## 6 总结

循环水处理技术随着现代科学技术的发展也在不断的提高,我们所设计的循环水处理控制系统主要是以 89C51 单片机为核心,根据流量传感器和 PH 值传感器进行数据信号的采集,然后送入单片机处理,最后通过对电动调节阀的控制来完成任务。使用增量型 PID 算法,通过串级控制,对循环水 PH 值和电石渣流量的双重控制,提高反映速率和稳定性能。

本系统投入运行后,实现了循环水处理的自动控制,能稳定地将循环水处理 PH 值控制在工艺要求范围内,避免了控制系统投运前的人工操作经常出现的循环水 PH 值大幅度波动的状况,通过使用电石渣液作为中和原料节省了成本,经济效益和社会效益显著。本控制系统的应用运行表现出以下特点:

(1) 以 89C51 单片机为核心的控制系统,系统硬件配置合理、实用、可靠。

(2) 采用数码管显示,键盘操作简便,显示简明易懂。

(3) 采用串级控制,克服了电石渣液浓度不均,中和反映响应时间慢等问题,通过及时调整电石渣液流量,使得 PH 值

满足生产要求的同时,也节约了成本。

本文针对传统的 PH 值控制方式,在反映时间上进行了改进,设计了一种以 89C51 单片机为核心的控制系统,系统实现了对循环水 PH 值的高效,快速,准确地控制。整个系统操作渐变,工作稳定,显示界面简明易懂,能实现对循环水 PH 值的实时检测与数据显示。降低了人员的操作的工作强度。

## 参考文献:

- [1] 姜志海. 单片机原理及应用 [M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- [2] 张友德,赵英奇,徐时亮. 单片微型机原理、应用与实验 [M]. 上海:复旦大学出版社,2003.
- [3] 冯燕,吴振玉.《计算机在化学化工中的应用》课程体系改革初探 [J]. 安徽化工,2012,(2):65-66.
- [4] 严爱军. 过程控制系统 [M]. 北京:北京工业大学出版社,2010.
- [5] Richter J D. Digital Simulation of Waste Neutralization Control System [A]. ISA, AnnualConf, No. 28 [C], 1973: 3117-3120.
- [6] 王寅. 化工过程混合建模问题研究 [D]. 杭州:浙江大学,2001.
- [7] 许海波,廖传书. 基于 AT89S52 单片机的远程监控系统 [J]. 微计算机信息,2007,(9):66-67.
- [8] 王凤全,王耀荣. 化工过程控制的特点及其综述 [J]. 北京石油化工学院学报,1998,(2):112-116.
- [9] 张聪,李艾华. 基于 C8051F040 单片机的智能枪柜设计 [J]. 计算机测量与控制,2012,(11):3048-3050.