

# 水厂二氧化氯控制系统的设计

周彦, 文志刚, 何小阳, 莫炳扬

(广西大学 电气工程学院, 广西 南宁 530004)

**摘要:** 为了充分发挥二氧化氯的消毒功能, 必须研制一种能自动、安全、适量生产二氧化氯消毒剂的控制系統; 基此, 设计了一种以 AVR 单片机为核心的二氧化氯控制系统, 给出了其工作原理、硬件组成和软件结构, 重点介绍了该系统的控制算法; 由于水净化过程具有很长滞后时间以及不确定性, 提出了以流量前馈加仿人智能模糊的控制算法; 现场应用表明, 该控制系统界面友好, 控制精度较高、抗干扰能力强、能连续稳定运行。

**关键词:** 单片机; 二氧化氯; 模糊控制; PID; 仿人智能

## Design and Application of Control System of Chlorine Dioxide Production

Zhou Yan, Wen Zhigang, He Xiaoyang, Mo Bingyang

(Electric Engineering College, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract:** In order to make good use of the ability of purification of chlorine dioxide, a kind of AVR single-chip microprocessor (SCM) based control system of chlorine dioxide production is introduced, focusing on its hardware and software designed, especially the control scheme. Considering the large time delay and strong uncertainty of the process of purification of water, Human-simulated Intelligent Fuzzy control plus feedforward with flux of water is proposed. The control system, which has a friendly surface, high control precision and strong anti-disturbance, can run steadily and continuously.

**Key words:** SCM; chlorine dioxide; fuzzy control; PID; human-simulated intelligence

### 0 引言

水处理过程中液氯对饮用水及其它工业用水进行消毒除菌时, 会产生致癌物质和其它副产品, 而二氧化氯作为新型消毒剂, 具有广谱、高效、快速的消毒效果, 对大肠杆菌、葡萄球菌等具有很好的杀灭作用, 还可以除去水中色度、臭味、藻类等, 并且其副产物少, 不生成三氯甲烷等卤化物。加之其杀菌效果基本不受 PH 值与氯的影响, 具有持久的抑菌效果, 是国际上公认的氯气消毒剂最理想的替代产品<sup>[1]</sup>。但二氧化氯不稳定的性质决定了其必须现场制备, 因此要想发挥二氧化氯的作用, 必须研制一种能自动、安全、适量生产二氧化氯消毒剂的控制系統。本文所介绍的以 AVR 单片机为核心的二氧化氯控制系统就是在水处理过程中用于制备二氧化氯和自动投加二氧化氯的自动化系統。

ATMEGA16 是一款高性能、低功耗的 8 位 AVR 单片机, 具有先进的 RISC 结构, 8 路 10 位 ADC; 16K 字节的系統内可编程 Flash; 512 字节的 EEPROM<sup>[2]</sup>。我们设计的以 AVR 单片机为核心二氧化氯控制系统具有恒温控制、余氯量控制、缺水检测、欠压检测、手动/自动切换以及与上位机的通信功能, 該系統界面友好, 运行稳定, 具有广阔的应用前景。

### 1 系統结构与硬件设计

#### 1.1 系統控制要求及软硬件设计思路

收稿日期: 2005-10-17; 修回日期: 2005-11-24。

**作者简介:** 周彦(1978-), 男, 湖南邵阳人, 硕士生, 主要从事工业过程先进控制、大滞后过程的控制策略等的研究。

**何小阳(1957-),** 男, 教授, 主要从事综合自动化、复杂过程建模与控制等方向的研究。

制备二氧化氯的常用方法之一是氯酸钠和盐酸反应生成, 原料通过计量泵加入反应罐内。系统的控制要求有二: 其一是实现反应罐内恒温控制; 其二是实现清水池出水口处的二氧化氯含量控制。根据功能实现的要求, 设计了以 ATmega16 单片机为处理核心的硬件系統。对于恒温控制部分, 由 AD590 半导体温度传感器采集回来的信号经放大后, 送入 AVR 单片机的 A/D 端, 转换后与给定的温度进行比较, 按仿人智能 PID 调节算法<sup>[3]</sup>计算出该时刻的值, 经光电隔离和功率放大后, 控制双向可控硅调压模块来达到恒温控制。对于出水口余氯量的控制, 由余氯传感器采集信号经处理后, 由 AVR 单片机采用仿人智能模糊控制加出水口流量前馈控制算法对计量泵的頻率进行调节, 从而改变二氧化氯的投加量, 使出水口处的余氯量保持在允许范围内。系統的整个框图如图 1 所示。

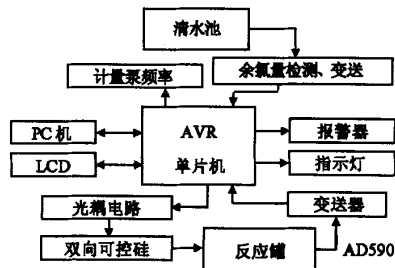


图 1 二氧化氯控制系统框图

#### 1.2 系統硬件结构

根据以上设计思路, 采用的硬件结构如下:

(1) 数字量采集: 数字量采集由单片机的 I/O 口完成, 主要检测反应罐的工作环境, 比如: 反应罐的水位, 自来水的水压等。数字量只是一些开关量, 开关闭合后, TP521 的发光管

工作, 光电隔离输出低电平, 单片机检测这个信号即可判断反应罐内的工作情况。

(2) 模拟量采集: 本系统采用的 MAX192 是 Maxim 公司开发的 8 路 10 位 SPI 接口的 A/D 转换器, 和单片机连接仅需要 4 个 I/O 口。为了提高控制器的可靠性和抗干扰能力, 对模拟量输入进行了光电隔离。

(3) 液晶显示器: 液晶显示器采用北京青云创新科技发展有限公司的带中文字库图形液晶显示模块。LCM12864ZK 中文液晶显示模块的液晶屏幕为 128 \* 64, 可显示四行, 每行可显示 8 个汉字。与单片机等微控器的接口界面灵活 (三种模式并行 8 位/4 位串行 3 线/2 线), 可实现汉字、ASCII 码、点阵图形的同屏显示。

(4) 数字量输出: 数字量输出包括继电器的开关输出和控制计量泵的脉冲输出。继电器输出有两路, 分别控制计量泵的电源和外部电磁阀。单片机通过光隔把信号输出给 ULN2803 来驱动继电器。

由于计量泵的脉冲频率比较高, 一般在 0~360 次/min, 在这种场合继电器不能满足要求, 通过试验证实: 直接用 TP521 可以驱动计量泵工作, 但是接线要求区分正负极性。

(5) 模拟量输出: 反应罐内的温度一般要求恒定在 78℃, 必须要有一个温度控制系统。传感器采用 AD590, 该器件为半导体温度传感器, 0℃时输出为 273 μA, 每升高 1℃电流增加 1 μA, 在 -50~150℃之间都可以保持读数的线性, 完全符合控制的需要。

## 2 控制算法

### 2.1 反应罐的恒温控制部分

在测得精确温度值的同时, 需要有好的控制算法完成对反应罐内温度的控制。由于罐内温度控制有较大的惯性与滞后, 会导致温度出现很大超调甚至振荡。同时由于升温的单向性, 即升温与保温靠电热丝加热, 而降温则依靠环境的自然冷却, 一旦温度超调就无法用控制手段使其降温。这种特性使得普通 PID 控制难以取得好的效果, 因此我们采用了如下的仿人智能 PID 控制算法<sup>[4]</sup>:

(1) IF  $|e_n| > e_{\max}$ , THEN  $u_n = u_{\max}$ 。说明偏差过大, 则相应控制量应调到最大, 以尽快减小偏差, 缩短被控制对象的动态过程时间;

(2) IF  $|e_n| < e_{\min}$ , THEN  $u_n = u_{n-1}$ 。说明偏差已达到允许范围, 考虑到控制对象的大滞后特性, 控制量保持不变, 以防止超调和振荡的出现;

(3) IF  $e_{\min} < |e_n| < e_{\max}$ , AND  $e_n \cdot ec_n > 0$  OR ( $ec_n = 0$  AND  $e_n \neq 0$ ), THEN  $u_n = u_{n-1} + K_{p1} ec_n + T_i e_n / T_i$ 。说明实际值正远离设定值, 控制量明显减小, 应加入积分作用, 并施加较大的比例作用, 以尽快减小偏差;

(4) IF  $e_{\min} < |e_n| < e_{\max}$ , AND  $e_n \cdot ec_n < 0$ , THEN  $u_n = u_{n-1} + K_{p2} ec_n$ 。说明实际值正在接近设定值, 为防止超调, 应去掉此时对系统动态起负作用的积分环节, 并施加较小的比例和微分作用。

式中,  $e_n = r_n - y_n$  称为偏差值,  $ec_n = e_n - e_{n-1}$  为偏差的变化率。其中  $r_n$  为给定值,  $y_n$  为被测变量值,  $T_i$  为采样周期,  $K_p$ 、 $T_i$  分别为比例系数、积分时间常数。其中的  $e_{\max}$ 、 $e_{\min}$ 、 $u_{\max}$  分别是上、下误差限以及施加的最大控制量, 这三者必须

根据被控温度的响应情况加以精调, 以防止出现超调。

### 2.2 清水池的余氯量控制算法<sup>[5]</sup>

由于水处理过程余氯量控制的滞后时间大概在 20~40 min 之间, 是一个超大滞后过程, 加上系统的不确定性, 因此控制难度极大。该控制系统以清水池入口处水流量计算出的前馈信号作为主控控制量, 根据清水池出水口处的余氯偏差, 通过仿人智能模糊控制算法计算出控制校正量。前馈控制消除了大滞后给系统控制带来的困难, 仿人智能模糊控制很好地消除了系统不确定性和随机干扰带来的影响。系统控制结构框图如图 2 所示。

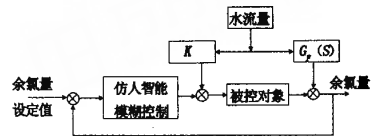


图 2 余氯量控制系统框图

在本文所研究的仿人智能模糊控制系统中, 选取  $E$  和  $EC$  作为模糊控制器的输入,  $\Delta U$  作为输出, 构成二维模糊控制器。先将  $e$  和  $\Delta e$  的基本论域, 分别通过量化因子将它们量化为  $[-n, +n]$  之间的离散论域, 其中  $n$  为量化等级,  $n$  过小分档过于粗糙, 控制精度低; 过大, 则计算繁琐。一般取  $n=6$ , 即  $E$ 、 $EC$  及  $\Delta U$  均按下述等级进行量化:

$\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$

$E$ 、 $EC$  及  $\Delta U$  的模糊集定义为

$\{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$

其隶属函数均选取三角形隶属函数, 如图 3 所示。

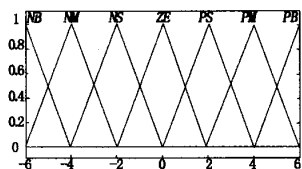


图 3  $E$ 、 $EC$  和  $\Delta U$  的隶属函数

根据现场控制工人的经验, 并吸收仿人智能控制思想, 总结的控制规则如表 1 所示。

解模糊的方法有最大隶属度法、中位数法、加权平均法等, 这里采用类似于 PI 控制的加权平均法, 以提高系统的稳态精度。控制器的输出由两部分组成:

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u$$

表 1 仿人智能模糊控制规则表

$\Delta U$		误差变化率 $EC$						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
误差 $E$	NB	NB	NB	NB	NM	ZE	ZE	ZE
	NM	NB	NB	NM	NS	ZE	ZE	ZE
	NS	NB	NM	NM	NM	ZE	ZE	ZE
	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
	PS	ZE	ZE	ZE	ZE	PS	PM	PM
	PM	ZE	ZE	ZE	PS	PM	PM	PB
	PB	ZE	ZE	ZE	PM	PB	PB	PB

(下转第 802 页)



作者: [周彦](#), [文志刚](#), [何小阳](#), [莫炳扬](#), [Zhou Yan](#), [Wen Zhigang](#), [He Xiaoyang](#), [Mo Bingyang](#)

作者单位: [广西大学, 电气工程学院, 广西, 南宁, 530004](#)

刊名: [计算机测量与控制](#) **ISTIC** **PKU**

英文刊名: [COMPUTER MEASUREMENT & CONTROL](#)

年, 卷(期): 2006, 14(6)

引用次数: 2次

## 参考文献(5条)

1. [黄君礼](#) [新型水处理剂:二氧化氯技术及其应用](#) 2002
2. [吴双力](#), [崔剑](#), [王伯岭](#) [AVR-GCC与AVR单片机C语言开发](#) 2004
3. [Tu Y Q](#), [Li Z S](#) [Design method for a novel human simulating Intelligent controller](#) 1994(5)
4. [周彦](#), [王冬丽](#), [何小阳](#) [仿人智能PID控制的PLC实现及其应用](#)[期刊论文]-[微计算机信息](#) 2005(19)
5. [马克茂](#), [朱奕](#) [带有前馈补偿的模糊控制系统及其在锅炉水位控制中的应用](#)[期刊论文]-[计算机测量与控制](#) 2004(6)

## 相似文献(4条)

1. 期刊论文 [任亚军](#), [陈白宁](#), [赵明](#), [REN Ya-jun](#), [CHEN Bai-ning](#), [ZHAO Ming](#) [二氧化氯发生装置控制系统的研究](#)-[仪器仪表用户](#)2008, 15(6)

设计了一种基于AT89C51单片机的用于水处理的二氧化氯发生装置控制系统. 该控制系统根据待处理水流量和检测到的二氧化氯浓度的实时值, 向水中投加二氧化氯溶液, 从而精确控制水中二氧化氯的浓度. 该系统具有远程显示功能.

2. 期刊论文 [李清](#) [二氧化氯发生器自动控制仪的研制](#)-[仪器仪表用户](#)2004, 11(1)

根据当前城市供水净化处理对二氧化氯消毒剂的产生和投加的需求, 本文介绍了一种采用单片机系统进行数据采集和检测、并进行处理和控制的二氧化氯发生器自动控制仪的研制, 实现了对二氧化氯的产生和投加进行全自动控制, 适用于供水企业进行水净化处理时使用.

3. 期刊论文 [张丽英](#), [ZHANG Li-ying](#) [在线检测医疗污水中余氯浓度的设计及实现](#)-[微计算机信息](#)2008, 24(29)

国家要求医疗污水需经处理后方可排放, 目前国内大部分医院采用二氧化氯处理医疗污水, 检查二氧化氯消毒的效果及是否产生二次污染是通过检测处理后的废水中余氯的含量来判定的. 由于污水中成分较为复杂, 在线检测废水中余氯的问题始终困扰着人们. 本文介绍了一种在线检测医疗废水中余氯浓度的设计, 该设计是借助试剂发色可见波长范围内先吸收的原理检测医疗废水中的余氯. 以单片机为主控制器, 控制系统复位机构实现在线连续检测、信息显示及远传、废水达标排放等. 该设计已完成, 经实验, 检测结果与常规检测余氯的结果基本一致.

4. 学位论文 [汤春华](#) [二氧化氯发生器综合控制器的研究与设计](#) 2008

作为生命起源的水, 无论在我们的日常生活还是社会发展中都起着不可或缺的作用, 但是, 由于工业的发展和人口的增加, 我们赖以生存的水资源正面临着严重的污染的短缺. 因此, 节约用水和开发新水源的同时, 污水治理和净化具有同等重要的意义. 污水治理及净化的方法多种多样, 但国际上公认的最理想的氯系消毒剂为二氧化氯, 而且被欧美国家推崇为第四代消毒剂, 其应用领域也越来越广阔. 山大华特公司是国内最早研制开发也是国内规模最大的化学法C102发生器专业制造企业, 在国内C102及水处理行业享有较高的知名度. 该产品的可靠性和效率依赖于准确的给药量和反应温度, 原来的电气控制系统主要采用通用仪表改装或PLC等方式实现, 影响了产品的反应效率及自动控制水平, 山大华天1997年开始与山大华特公司合作开发二氧化氯发生器控制系统, 先后成功研制出HT908、HT99、HT2000、二氧化氯发生器综合控制器等系列产品.

针对二氧化氯发生器的原理, 结合温度仪表及自动控制原理, 设计开发具有针对型和专用型的综合控制器, 并且按照不同的客户需求, 将产品系列化. 总体方案设计方面, 采用AVR单片机作为主控部分的核心, 温度采集采用具有高精度的PT100, 温度控制方面采用误差分段、积分和输出限幅的二位智能PID控制算法, 提高了温度的控制精度; 计量泵控制方面采用单片机定时控制加光耦隔离的方式, 提高了计量泵的计量精度和系统的可靠性; 显示方面采用LED和LCD相结合的方式, 直观明了; 另外, 产品还具有故障自检、历史事件记录、通讯等功能. 由于PT100的非线性, 系统设计时在硬件设计方面对其进行了现行修正; 温度控制方面, 采用误差分段、积分和输出限幅的二位智能PID控制算法, 提高了温度的控制精度; 计量泵控制方面, 采用水流量测量前馈和余氯检测反馈相结合的方式, 计量泵的输出基准采用单片机定时器准确计时、光耦隔离输出等方式, 提高了给药量的的准确性和系统的抗干扰能力. 由于产品使用的环境具有强腐蚀性, 并且要求产品的可靠性很高, 因此在产品的抗腐蚀性、可靠性等方面, 做了较为全面的分析与设计; 随着计算机的大力普及, 与计算机联网组成集中监控系统实现远程控制也变得极其现实和必要, 该产品采用RS-485接口、标准MODBUS通讯协议, 实现了与计算机系统的互联和集中监控;

## 引证文献(2条)

1. [周斌](#), [陈伟海](#), [于守谦](#) [基于AVR单片机的门禁控制器的设计与实现](#)[期刊论文]-[安防科技](#) 2008(02)
2. [周斌](#), [陈伟海](#), [于守谦](#) [基于AVR单片机的门禁控制器的设计与实现](#)[期刊论文]-[计算机测量与控制](#) 2007(12)