

# 净水厂混凝投药模糊控制方法

王强<sup>1</sup>, 刘遂庆<sup>1</sup>, 周建萍<sup>2</sup>, 陶涛<sup>1</sup>, 周红星<sup>3</sup>

(1.同济大学环境科学与工程学院,上海 200092; 2.中国石油大学石油工程学院,北京 102249;  
3.唐山学院土木工程系,河北 唐山 063000)

**摘要:** 本文结合净水厂工程实例介绍水厂混凝投药模糊控制方法。该方法能够解决水厂混凝剂投加控制系统中存在的非线性、时滞性和模糊性问题,从而实现现场混凝投药自动控制。以一个单点模糊控制器的工作原理为例说明了混凝投药模糊控制系统中的核心技术的设计原理。本文提出的方法经工程实践取得了预期成效。

**关键词:** 混凝投药;模糊控制;混凝模糊控制器;前馈控制;反馈控制

**中图分类号:** TU991.22

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-3770(2005)10-0029-04

针对水厂混凝剂投加控制系统中存在的非线性、时滞性和模糊性问题,本文结合江西南昌某水厂(以下简称J水厂)的混凝投药自控系统工程实例,介绍水厂混凝投药的模糊控制方法。工程实践表明,本文方法能够较好地解决混凝过程存在的非线性、时滞性、模糊性问题,实现现场混凝投药自动控制。

## 1 混凝投药模糊控制系统

J水厂地处赣江中游地区,日产水量为6万吨,其净水处理工艺流程及混凝投药控制系统如图1。图中混凝投药控制系统包括:前馈控制器(线框内)、反馈控制器(线框内)、检测器、执行机构四部分。前馈控制器和反馈控制器由上位PC机和可编程序控制器PLC组成。

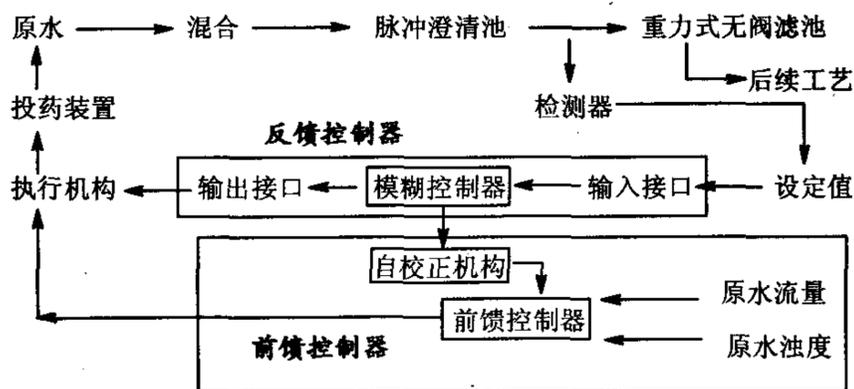


图1 水厂工艺流程及混凝投药模糊控制系统组成

### 1.1 前馈控制器(粗控)

以原水流量和原水浊度作为前馈控制器的主输入量。由于原水的浊度和流量对单位水投加混凝剂的影响较大且呈非线性,因此我们可以采用模糊控制法,根据以往大量的历史数据,建立起原水流量、原水浊度和单位水投加混凝剂量的规则数据库,而且该数据库随反馈控制中的模糊控制器的数据变化不断更新、校正。实施过程中,按现行的浊度、流量来查询最接近的若干条纪录值,然后采用差分法确定输入量。

### 1.2 反馈控制器(微控)

由模糊控制器、输入、输出接口等组成。

#### 1.2.1 模糊控制器

模糊控制器是混凝投药模糊控制系统的核心,也是模糊控制系统区别于其它自动控制系统的主要标志。本系统的模糊控制器由PC机和可编程序控制器(PLC)来实现。下文将单独介绍模糊控制器的结构组成和设计方法。

#### 1.2.2 输入、输出接口

输入、输出接口是实现模糊控制算法的计算机系统与控制系统连接的桥梁。输入接口主要与检测器连接,把检测信号转换为计算机系统所能识别处理的数字信号;输出接口把计算机输出的数字信号转换为执行机构所要求的模拟信号。该系统中所采用的SIMATIC的S7-200系列可编程序控制器

收稿日期:2004-10-09

基金项目:中国欧盟科技合作第五框架项目(ICA4-2001-10182)

作者简介:王强(1973-),男,在读博士;联系电话:021-65985869,13818709086;Email:wang-qiang@netease.com。

(PLC), 内含模数转换(A/D)和数模转换(D/A)功能, 已很好地解决了接口问题。

### 1.3 检测器

采用美国 Harch 公司 1720 型低量程在线检测浊度仪对水质进行实时检测, 检测精度高于系统的精度控制指标。

### 1.4 执行机构

执行机构是模糊控制器向被控对象施加控制作用的装置。本系统采用松下 VFO 超小型变频调速器, 可以将输入的固定频率的电源转换为相应频率的电源输出, 供给投药计量泵电机, 从而调节泵的转速, 控制混凝剂的投加。

## 2 混凝投药模糊控制器

混凝投药模糊控制器的结构如图 2 所示, 图 2 是一个简单的单点模糊控制器, 下面以这个简单的单点模糊控制器来说明混凝投药模糊控制器的设计原理。

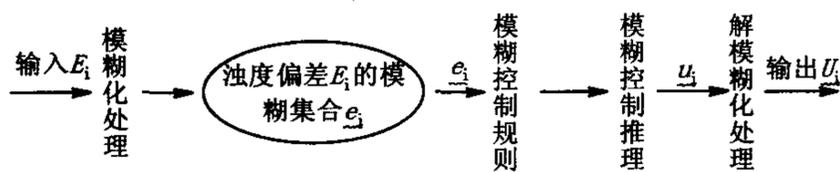


图 2 混凝投药模糊控制器结构

### 2.1 混凝投药模糊控制器的工作原理

PLC 经中断采样获取浊度仪输入的信号数值, 将此值与设定值比较得到偏差  $E_i$ , 以此作为 PC 机模糊控制器系统软件的输入量; 然后把偏差  $E_i$  进行模糊化处理, 将其映射到相应的输入论域上, 得到一个模糊子集  $e_i$ ; 再由  $e_i$  和模糊控制规则  $R$  (模糊关系) 根据模糊推理的合成规则作出模糊决策, 得到模糊控制量  $u_i$  为:

$$u_i = e_i \cdot R$$

为了对被控对象施加精确的控制, 还需将模糊量  $u_i$  解模糊化处理, 得到确定的控制变化输出量  $U_i$ , 再由 PC 机通过 RS485 通讯协议传给 PLC, 最后由 PLC 输出给变频调速器。

### 2.2 混凝投药模糊控制器的设计原理

#### 2.2.1 输入和输出量隶属函数值的确定

设沉淀池出水浊度与设定值的偏差  $E$  的量程范围为  $-15\text{NTU} \sim +15\text{NTU}$ , 即  $[-15, +15]$ , 模糊控制器对变频调速器输出的频率变化量  $U$  量程范围为  $-20\text{Hz} \sim +20\text{Hz}$ , 即  $[-20, 20]$ 。

输入  $E$  和输出  $U$  的论域  $e$  和  $u$  为离散的有限论域, 分别定为 7 个等级和 9 个等级, 即

$$e = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\};$$

$$u = \{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$$

那么输入和输出的映射转换如下:

$$\text{输入: } [-15, 15] \rightarrow e; \quad \text{输出: } u \rightarrow [-20, 20]$$

对于浊度偏差  $E$  和输出控制  $U$  取模糊语言值均取为:

{ PB (正大), PS (正小), ZO (零), NS (负小), NB (负大) }

浊度偏差  $E$  这一语言变量的各语言值即各模糊子集是定义在论域  $e$  上的, 其隶属函数值为表 1 所示。

输出控制  $U$  这一语言变量的各语言值即各模糊子集是定义在论域  $u$  上的, 其隶属函数值为表 2 所示。

#### 2.2.2 模糊规则的确定

基于手动操作人员长期积累的经验和专家的有关知识确定混凝投药控制的规则库, 它包含以下 5 条规则:

- 若  $E$  为 NB 则  $U$  为 PB 否则
- 若  $E$  为 NS 则  $U$  为 PS 否则
- 若  $E$  为 ZO 则  $U$  为 ZO 否则
- 若  $E$  为 PS 则  $U$  为 NS 否则
- 若  $E$  为 PB 则  $U$  为 NB。

#### 2.2.3 模糊关系的确定

由 5 条规则构成一个 5 段的模糊条件语句, 那么它表示的模糊关系  $R$  应为:

$$R = \bigcup_{i=1}^5 R_i$$

式中,  $R_i$  为 5 段模糊条件语句相对应的模糊向量的笛卡尔乘积,  $i=1 \sim 5$ 。

表 1 浊度偏差隶属函数值

语言值	浊度偏差 $E$ 语言值的隶属函数论域等级						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
PB	0	0	0	0	0.4	0.8	1.0
PS	0	0	0.4	0.8	1.0	0.8	0.4
ZO	0	0.4	0.8	1.0	0.8	0.4	0
NS	0.4	0.8	1.0	0.8	0.4	0	0
NB	1.0	0.8	0.4	0	0	0	0

表 2 输出频率变化量隶属函数值

语言值	输出频率变化量 $U$ 语言值的隶属函数论域等级								
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
PB	0	0	0	0	0	0	0.4	0.8	1.0
PS	0	0	0	0	0.4	0.8	1.0	0.8	0.4
ZO	0	0	0.4	0.8	1.0	0.8	0.4	0	0
NS	0.4	0.8	1.0	0.8	0.4	0	0	0	0
NB	1.0	0.8	0.4	0	0	0	0	0	0

2.2.4 模糊决策及解模糊化

根据模糊推理合成规则, 由  $e_{\sim}$  和模糊控制规则  $R_{\sim}$  的模糊关系合成进行模糊决策, 得到模糊控制的输出变量的模糊值  $u_{\sim}$  为:

$$u_{\sim} = e_{\sim} \cdot R_{\sim}$$

再将模糊控制变量  $u_{\sim}$  作解模糊处理, 得到确定的数字控制量, 输出给变频调速器, 对混凝剂的投加进行实时控制。

如果某一时刻  $i$  输入信号  $E_i$  为 +5NTU, 映射到输入论域  $e_{\sim}$  上, 为  $e_{\sim}$  上的点“1”。按单点模糊化的方法,  $E_i$  模糊化的模糊集  $e_{\sim}$  则为:

$$e_{\sim} = \frac{0}{-3} + \frac{0}{-2} + \frac{0}{-1} + \frac{0}{-3} + \frac{0}{0} + \frac{0}{1} + \frac{0}{2} + \frac{0}{3} = (0, 0, 0, 0,$$

1, 0, 0)

对  $e_{\sim}$  和  $R_{\sim}$  合成 (按 “ $\vee$ - $\wedge$ ” 规则) 得到控制量的模糊值  $u_{\sim}$ :

$$\begin{aligned} u_{\sim} &= e_{\sim} \cdot R_{\sim} \\ &= (0, 0, 0, 0, 1, 0, 0) \cdot R_{\sim} \\ &= (0.4, 0.8, 1.0, 0.8, 0.8, 0.8, 0.4, 0.4, 0.4) \\ &= \frac{0.4}{-4} + \frac{0.8}{-3} + \frac{1.0}{-2} + \frac{0.8}{-1} + \frac{0.8}{0} + \frac{0.8}{1} + \frac{0.4}{2} + \\ &\frac{0.4}{3} + \frac{0.4}{4} \end{aligned}$$

对上式按最大隶属度原则, 应选取控制量为“-2”级。将 -2 映射到输出论域  $[-20, 20]$  上, 得对应于某一时刻  $i$  输入信号  $E_i$  为 +5NTU 时的输出频率变化量  $U_i$  为  $-2 \times 20/4 = -10\text{Hz}$ , 即要求变频调速器的频率减少 10Hz。

3 混凝投药模糊控制系统的软件开发

本系统控制软件是在 PC 机的 WINDOW98 平台下采用 VC++ 开发的, 功能齐全, 操作简单, 界面友好, 有丰富的曲线功能。该软件包括沉淀池出水浊度设定、模糊控制器设定、控制显示、记录打印四大模块, 能方便地修改模糊控制器的控制规则和参数 (具有通用性), 能设定出水浊度标准值, 能实现投药系统的自动控制, 实时显示、记录、打印控制参数等功能。

4 混凝投药模糊控制系统的应用效果分析

本混凝投药模糊控制系统在 J 水厂得到了实际应用。该水厂的原水取自赣江, 水处理投加的混凝剂是聚合氯化铝 (PAC)。2000 年及此前, 投加方式一直为人工控制, 2001 年 3 月开始对水厂投药进行上述的模糊控制方式改造, 2001 年底软硬件调试完成, 并于 2002 年开始正常运行。下面通过 2000 年与 2003 年的原水浊度与沉后水浊度变化曲线、原水流量与沉后水浊度变化曲线来分析实施模糊控制前后, J 水厂的运行状况的变化。

图 3 和图 4 分别为实施模糊控制前后, 原水浊度变化最大时期的沉淀池出水水质情况。两段时期的原水水温均为 17~22℃, 原水 pH 值均为 6.8~7.2, 原水流量均为 2400~2500m<sup>3</sup>/h。

由图 3 可知, 原水浊度变化范围在 30~560NTU, 当其发生急剧变化时, 沉淀后水浊度变化曲线相应会有较大的波动, 最高达到了 13NTU, 恢复到较好水质有明显的滞后过程。由图 4 可知, 原水浊度变化为

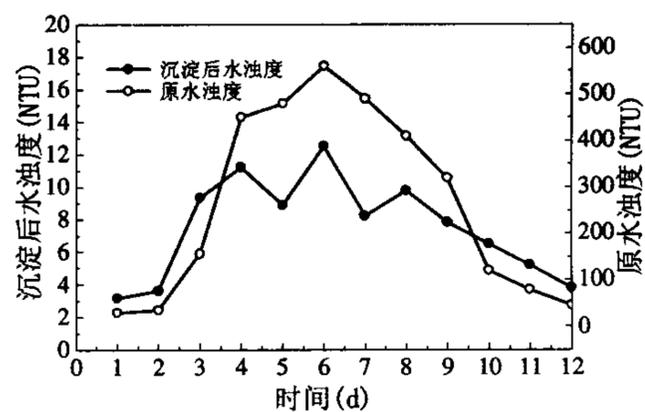


图 3 2000 年 6 月间原水浊度与沉淀后水浊度变化

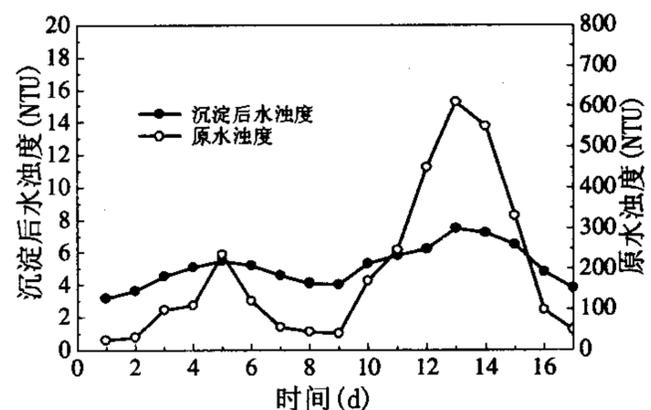


图 4 2003 年 6 月和 7 月间原水浊度与沉淀后水浊度变化

25~610NTU,在其变化过程中,沉后水浊度均控制在3.2~7.5NTU,沉淀后水浊度变化曲线趋于平缓。模糊控制方式对原水浊度在较短时间内的大幅度变化有很强的适应性。

图5和图6分别为实施模糊控制前后,沉淀池出水随原水流量变化浊度发生变化的情况。由图5和图6可知,在原水流量变化基本相似的情况下,与2000年的沉淀后水浊度相比,2003年的沉后水浊度变化曲线较为平缓,说明模糊控制方式对原水流量的变化也具有较强的适应性。

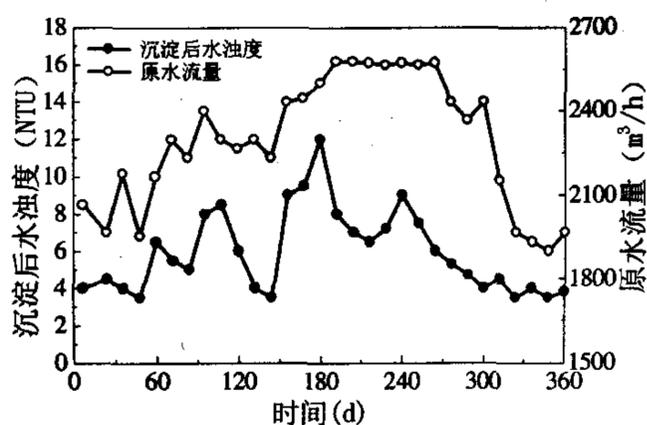


图5 2000年原水流量与沉淀后水浊度变化曲线

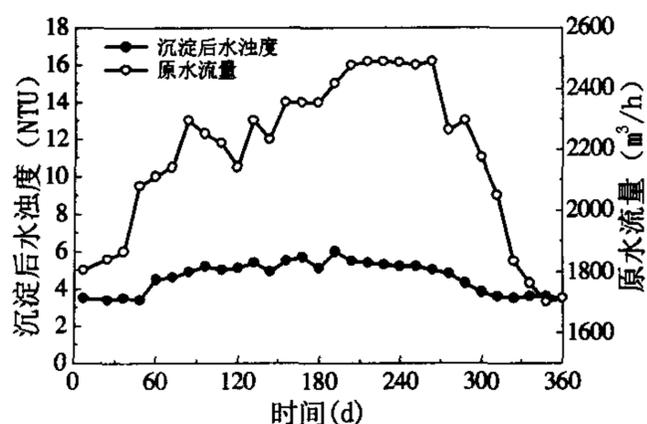


图6 2003年原水流量与沉淀后水浊度变化曲线

同时,由J水厂2000年和2003年购买的混凝剂PAC库存数据可知,实施模糊控制投药后,2003

年1~10月份PAC消耗数量比2000年同期节约了12.5%左右,有效降低了水厂的运营成本。实施模糊控制后,J水厂的运行状况得到较大的改善,基本达到预期改造目标。

## 5 结语

混凝模糊控制是总结熟练手动操作人员的经验形成控制规则而实施自动控制的一种方法。该方法不需要知道被控对象(或过程)的数学模型,易于实现对具有不确定性的对象和具有强非线性的对象的控制,并对控制系统的干扰具有较强的抑制能力,在现场控制中取得了预期效果。该控制系统在J水厂运行两年以来,工作稳定可靠,动态性能好,尤其是对原水流量、浊度变化大的情况适应性较强,有效地克服了传统控制方法中过程复杂、结果不准确、对变化及干扰适应和抑制能力差等不足之处。但是,现场实践也发现单纯的模糊控制只能解决小滞后即仪器设备的滞后问题,还不能有效地解决大滞后即工艺本身所带来的时滞性问题。

## 参考文献:

- [1] 李士勇. 模糊控制、神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1996.
- [2] 张曾科. 模糊数学在自动化技术中的应用[M]. 北京:清华大学出版社,1992.
- [3] 崔福义,彭永臻. 给水排水工程仪表与控制[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [4] Jowitt P W. Fuzzy sets and water quality [A]. Proceedings of the Ninth Triennial World Congress of IFAC. Budapest, 1985.
- [5] Moller A, Marsili-Libelli S. Fuzzy control of disturbances in a wastewater treatment process [J]. Water Res., 1997, 31 (12): 3157-3167.

## STUDY OF FUZZY CONTROL METHOD IN WATERWORKS COAGULANT-ADDING SYSTEM

Wang Qiang<sup>1</sup>, Liu Shui-qing<sup>1</sup>, Zhou Jian-ping<sup>2</sup>, Tao Tao<sup>1</sup>, Zhou Hong-xing<sup>3</sup>

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. School of Petroleum Engineering, University of Petroleum, Beijing 102249, China

3. Department of Civil Engineering, Tangshan College, Tangshan 063000, China)

**Abstract:** In consideration of the problems such as non-linear, time lag and fuzzy characteristics from coagulant-adding control system in waterworks, a fuzzy control method is proposed in this paper. Based on an engineering example, the auto control system of coagulation with control is introduced and the design method of coagulation fuzzy controller is explained.

**Keywords:** coagulant dosing system; fuzzy control; coagulation fuzzy controller; precedent control; feedback control

全面规划,统筹兼顾,综合利用水资源