

新型水处理混凝投药智能复合环控制系统研究

南 军 李圭白
(哈尔滨工业大学)

杨基春
(黑龙江省建筑设计研究院)

摘 要：通过分析原水流量对水处理混凝投药系统控制质量的影响，阐述了单一流动电流混凝投药测控系统的局限性，提出一种新型的智能复合环控制系统及相应的控制算法。

关键词：前馈；特性参数；控制；流动电流

随着流动电流混凝投药控制技术在水处理投药自动化方面的成功应用，国内外有关这一技术的理论和应用研究也日益广泛深入。而在连续生产过程中，单一的流动电流控制系统在实际应用中受到各种主客观因素的影响，控制效果与理想值有一定的偏差。本文在理论研究和应用经验的基础上进行系统阐述，为流动电流技术的推广应用提供参考。

1. 单一流动电流混凝投药测控系统的局限性

1.1 常规控制方法

常规的流动电流控制系统属于后反馈控制，如图 1 所示：

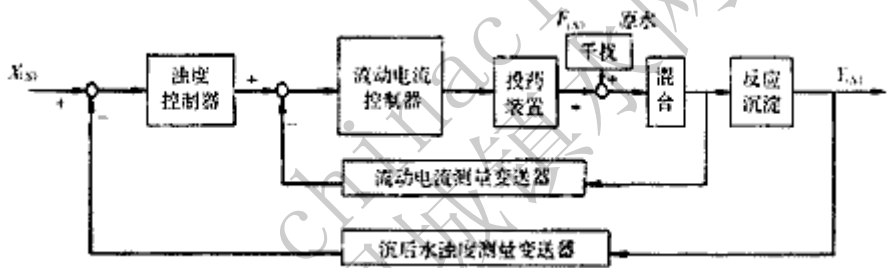


图 1 常规流动电流混凝投药系统控制原理示意图

它的控制原理是把沉后水浊度作为系统的主控参数，流动电流值为副控参数。两个控制器串联连接，浊度控制器的输出为流动电流控制器的给定值输入，流动电流控制器输出操纵投药装置动作，改变投药量。在原水水质、水量发生变化后，流动电流控制回路开始调节，迅速克服大部分干扰。其后少量的一次干扰由浊度控制回路通过自动调节流动电流设定值彻底清除。其中从水质、水量发生变化改变水中胶体电位到流动电流监测器取样检测到该变化，并相应改变投药量这段时间为控制的纯滞后时间。这段时间视从投药点到取样点的混合时间而定。

1.2 原水流量变化对系统控制质量的影响

流动电流监测器的取样水必须有代表性，要求是充分混合后的水样，但是短时间混合后的水样中胶体刚刚脱稳，絮凝作用很强，非常容易粘附在取样管壁及探头的表面，因而取样位置不能太靠前。如果水厂进水加药点后为高强度的静态混合器混合，混合时间短、效果好，取样点就可靠前，系统滞后时间仅为一分钟左右，相对水处理工艺较长的处理时间，可认为没有滞后问题；而当进水加药仅为短距离管道混合，混合效果较差，必须在反应池中取样，或设置混合池时在末端取样，由于池内的掺混作用，滞后时间会显著增加，可达三至十分钟。一般进水流量的变化时间短而幅度大，对这种相对较大滞后时间的混凝投药控制系统冲击较为剧烈。对于这类工艺，采用单回路反馈控制系统或串级控制系统已不能满足生产要求。

现有流动电流控制系统普遍采用 PI 调节模式，它属于一种通用型反馈控制调节规律，主要建立在系统的动态特性基础上，根据系统在过渡过程的动态变化情况进行输出调节。在模拟调节系统中 Plab 控制算法的模拟表达式为：



$$y = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt \right] \quad (1)$$

式中：y—调节器的输出信号；

e(t)—调节器的输入偏差信号，它等于测量值与给定值之差；

K_p—调节器的比例系数；

T_I—调节器的积分时间常数。

为简化起见我们只考虑流动电流控制回路为单回路反馈控制系统,用传递函数来表示见图 2:

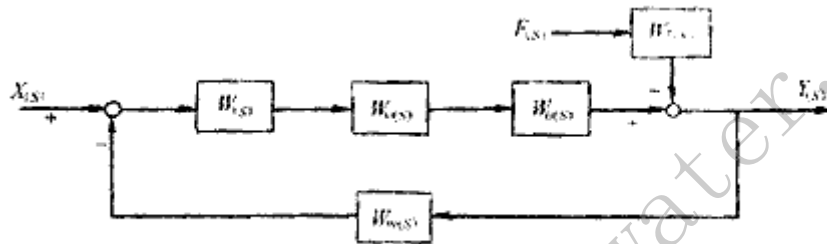


图 2 流动电流投药控制系统方框图

图 2 所示流动电流混凝投药控制系统由比例积分调节器 W(s)、计量泵 W_v(s)、对象 W₀(s) 以及流动电流测量变送器 w_m(s)、干扰 W_f(s)、阶跃扰动 F(s) 组成。

$$W(s) = K_p(1 + 1/T_I S); W_v(s) = K_v; W_0(s) = K_0/T_0 S + 1; W_m(s) = K/T_m S + 1;$$

$$\text{设 } W_f(s) = K_f/[T_0 S + 1]$$

式中：K_v—计量泵的特性参数；

K₀—对象的特性参数；

T₀—对象的时间常数；

K_m—流动电流测量变送器的特性参数；

T_m—流动电流测量变送器的时间常数；

K_f—干扰的特性参数；

S—复变量。

由于积分控制的存在，该系统为三阶系统。为了简便起见，我们只考虑PI调节器的比例控制部分，即设 w(s)=K_p。则系统的闭环传递函数：

$$\frac{Y(s)}{F(s)} = \frac{K_f(T_m S + 1)}{(T_0 S + 1)(T_m S + 1) + K_p K_v K_m K_0} \quad (2)$$

由反馈控制理论可知，这是一个二阶系统的过程控制，其过渡过程将由流动电流混凝投药控制系统的参数即为衰减系数ξ的值或特征方程的根决定。要保证控制质量，就要力求维持对应最佳控制效果参数下的ξ值不变。



在实际应用中,根据被控对象数学模型进行理论计算或简易工程整定法得出的PI控制器的特性参数 K_p, T_I 一经整定后就不再改变。因而在讨论流量对系统控制质量的影响时,设 T_0, T_m, K_p, K_m 等其它参数为定值。由式(2)可知,流动电流混凝投药控制系统的特征方程为:

$$T_0 T_m S^2 + (T_0 + T_m)S + (1 + K'K_v) = 0 \quad (3)$$

其衰减系数

$$\zeta = \frac{T_0 + T_m}{2\sqrt{T_0 T_m (1 + K'K_v)}} \quad (4)$$

其中: $K' = K_p K_m K_0$

在流动电流投药控制系统中,计量泵的频率变化值与调节器的输出信号改变值成正比,即

$$\Delta f = k_s \times \Delta SC \quad (5)$$

其中: k_s —为常数; ΔSC —流动电流调节器的输出信号改变值

计量泵的调节参数改变值与输出流量变化值之间的关系称为计量泵的调节特性,其数学表达式为:

$$\Delta Q_{\text{泵}} = K_{\text{泵}} \Delta f H_{\text{泵}} = K_{\text{泵}} k_s \Delta SC H_{\text{泵}} \quad (6)$$

式中: $\Delta Q_{\text{泵}}$ —计量泵输出流量变化值;

$K_{\text{泵}}$ —常数;

Δf —计量泵电源频率改变值;

$H_{\text{泵}}$ —计量泵行程百分比。

而实际投加到原水中的药量变化值:

$$\Delta q = [C_{\text{药}} \Delta Q_{\text{泵}} / Q_{\text{水}}] = (K_{\text{泵}} C_{\text{药}} k_s \Delta SC H_{\text{泵}}) / Q_{\text{水}} \quad (7)$$

式中: Δq —药量变化值;

$C_{\text{药}}$ —投加的药液浓度; $Q_{\text{水}}$ —原水进水流量。

由(7)式可知,流动电流投药控制系统中计量泵的特性参数

$$K_v = \Delta q / \Delta SC = [K_{\text{泵}} C_{\text{药}} k_s H_{\text{泵}}] / Q_{\text{水}} \quad (8)$$

由式(4)、(8)我们可以看出:在水厂实际生产中,药液浓度 $C_{\text{药}}$ 在一段时期内维持不变,而计量泵的冲程则多为人工手动控制,不能随原水流量较大幅度的变化做出准确、及时的调整。这样原水流量的变化势必会引起 K_v 值的改变,从而导致系统衰减系数 ζ 值的相应减小或增大 K_v 值较小时,则 ζ 值较大,这种系统过渡过程虽然是不振荡的,但是水质水量等干扰发生变化时系统调节速度缓慢,不能保证出水水质的稳定;而当 K_v 值较大时,则 ζ 值较小,这种系统过渡过程阻尼大,原水参数发生变化时,能迅速做出反应。但随 ζ 值继续减小,系统会发生衰减振荡且不断加剧,导致加药量频繁地大幅度变化,浪费药剂且可能导致出水水质恶化,严重影响生产。

2. 智能混凝投药复合环控制系统



为了解决上述问题，提出并已应用了一种新的控制方法如图3所示。即在流动电流混凝投药串级控制系统中，引入流量比例前馈控制以进一步提高系统的控制质量。其中前馈部分即原水流量控制器是根据原水流量测量变送器（流量计）的检测值进行控制的。当原水流量一变化，调节器立即根据流量变化幅度大小，对系统加药量进行调节，来补偿水量变化对水中胶体脱稳程度的影响，使出水水质基本不变化（或很少变化）。而流动电流串级控制系统的输出和流量调节器输出复合控制投药量，对其余水质参数变化的影响进行反馈闭环调节，消除余差。由于在水量发生变化尚未影响到水厂工艺处理效果前，前馈调节器就通过调整加药量及时行了补偿，因而它相对前述常规流动电流后反馈控制来说是及时的，在理论上对水量变化的影响可以达到完全补偿，控制效果显著提高。

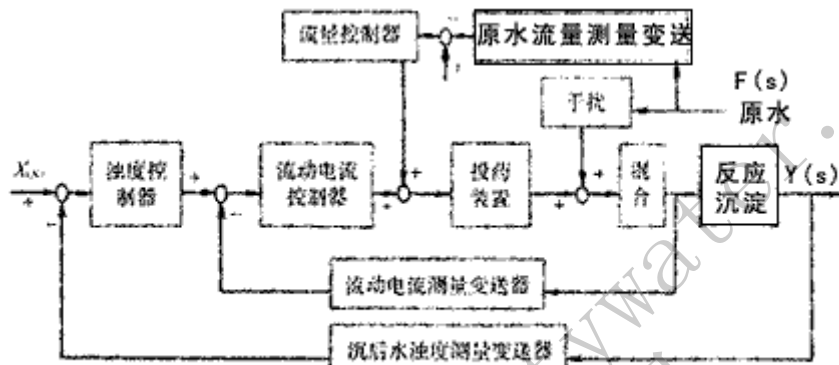


图3 新型智能符合环混凝投药自控系统原理图

2.1 常规流量比例前馈-流动电流串级控制系统

常规流量比例前馈-流动电流串级控制系统是在水厂安装原水流量计，并选取带有冲程、频率双调节的计量泵。泵的电频率由流动电流控制器输出信号控制，而冲程由原水流量信号按比例直接控制。

$$\text{即计量泵冲程} \quad H_{\text{泵}} = KHQ_{\text{水}} \quad (9)$$

式中：KH为整定后的常数。

式（9）代入式（8）可得： $K_v = K_{\text{泵}} K_s KH$ 为常数，从而保证系统衰减系数 ζ 值不变。

所以，此方法既可以改善流动电流控制系统的滞后问题，及时根据进水流量变化调整加药量；又可在进水流量变化时，使计量泵的特性参数 K_v 值不变，从而较好地保证控制质量。但是这种控制方式也会带来一些问题，例如：

- 1、每台计量泵都需加装电动冲程调节器，成本较高；
- 2、由于电动冲程调节器是齿轮传动，可靠性不高，寿命较短；
- 3、精度较低，并存在调节间隙造成的偏差；
- 4、工人操作同时要兼顾冲程和频率调节，有一定难度；

2.2 智能混凝投药复合环控制系统

为了有效地解决上述问题，对可编程控制器的模拟输出进行了改进，具体方案如下：

使计量泵的电源频率 $f = k_1 \times Q_{\text{水}} \times SC$ ，即

$$\Delta f = k_1 \times Q_{\text{水}} \times \Delta SC \quad (10)$$

式中：K1—为常数；

SC—流动电流调节器的输出信号，此时冲程调节到适当值后在计量泵的流量 满足需要的最大加药量条件下不再改变。

由式（6）、（7）、（8）、（10）可得：

计量泵的特性参数 $K_v = \Delta q / \Delta SC = K_{\text{泵}} C_{\text{药}} k_1 H_{\text{泵}}$ 为常数，也可保证控制效果。该方案将流量前馈控制值与流动电流调节器的输出值构成并行的复合环控制方式，给出一路控制信号来调节计量泵转速，达到变频调



速和冲程调节两路控制的效果而同样可保证系统衰减系数 ζ 值不变。具有成本明显降低、使用寿命大大延长、控制精度高、智能化程度高、设备成本降低和操作管理简化等优点。

3. 结论

1、常规的流动电流投药自控系统存在着不完善之处, 原水流量变化会影响控制质量, 这就需要一些改进措施。

2、新型智能复合环控制系统可以改善计量泵特性参数的方法简便有效, 可在大多数水厂中推广应用, 具有广阔前景。

参考文献

- [1] 崔福义 李圭白著, 流动电流及其在混凝控制中的应用, 哈尔滨, 黑龙江技术出版社, 1995, 68-98
- [2] 何克忠 李伟, 计算机控制系统, 北京, 清华大学出版社, 1998, 147-160, 228-259

简 历

一、个人情况:

姓名: 南军 性别: 男 出生年月: 1971.2 民族: 汉族
专业: 市政工程 政治面貌: 中共党员 最高学历: 博士后
所在单位: 哈尔滨工业大学市政环境工程学院 工作时间: 1996.1
籍贯: 黑龙江省哈尔滨市 专业职务: 助理研究员 评职时间: 1996.5
研究方向: 水处理工艺、水处理过程控制与优化。
通讯地址: 哈尔滨市南岗区海河路 202 号, 哈尔滨工业大学 2 区 2441 信箱
邮 编: 150090
E-mail: nanjun@etang.com
电话: (0451) 6282298(家), 传呼: 191-1133922 (汉)

二、教育情况

1989.9~1993.7 沈阳建筑工程学院 学士学位论文工作 本科
1993.9~1996.4 哈尔滨建筑大学 硕士学位论文工作 硕士(留校任教)
1996.9~1999.6 哈尔滨建筑大学 博士研究生工作 博士(助理研究员)
1999.6~2001 东南大学 博士后研究生工作 博士后

三、科研方面

从事过 SC 法混凝控制系统的研究工作; 高浊度水透光脉动单因子絮凝投药自动控制系统生产试验研究; 国家“八五”重点攻关项目——最优投药设备与控制系统开发的研究; 含油污水混凝投药自控应用技术研究; 净水厂混凝投药自控系统优化研究; 不同波长光源在线颗粒检测技术研究; 水厂集散式自控系统的研究; 城市供水系统监测和自动化技术设备, 均是主要研究人员, 目前撰写已发表论文共计 6 篇。

四、公开发表论文有:

1. “PID 调节模式下的流动电流混凝投药自动控制系统”, 哈建大学报, 1999.5
2. “透光率脉动混凝投药自控系统设定值影响因素研究”, 哈建大学报, 1999.5
3. “透光率脉动絮凝检测混凝投药自动控制技术的研究”, 哈建大学报, 1999.2
4. “石油开采废水处理技术的现状与展望”, 中国给水排水, 1999.11



5. “透光率脉动絮凝投药自控系统配置的工程实践研究”，给水排水，1999,25
6. “新型水处理混凝投药智能复合环控制系统研究”，中国给水排水，2001.9

<http://www.chinacitywater.org>
中国城镇水网