

自动控制加药系统在微絮凝过滤中的应用

李伟英, 范瑾初

(同济大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 通过中试试验并结合理论分析, 对用于微絮凝过滤中的流动电流检测仪(SCD)自动控制加药技术作了较为系统的分析和研究。试验结果表明: 在通常情况下(以某水库水作为源水, 其浊度小于 20 ntu), 该水库水流动电流设定值(S_p)应为 -17.5 ; 加药管线流行时间为 $50 \sim 60$ s; 取样系统流量(q_H)选用应恒定。由此得出结论: 某水库水采用流动电流自动控制混凝加药技术是可行的。

关键词: 混凝控制; 流动电流; 流动电流检测仪; 取样系统; 在线检测

中图分类号: TU 991.21

文献标识码: A

文章编号: 0253-374X(2001)05-0621-05

System of Coagulant Dosage Control in the
Micro-coagulant Filtration

LI Wei-ying, FAN Jing-chu

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In this paper, the SCD technique has been systematically analyzed and studied by theoretical research associated with application. The experiment results indicate: Generally, the reservoir's water (turbidity of the raw water resource no more than 20 ntu) streaming current set point (S_p) should be -17.5 ; The process time of dosing pipe-line is $50 \sim 60$ seconds; The flow rate of sampling and dosing system should be fixed (this test adopt $q_H = 2.6 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$). The experiment results point out that the coagulant dosage control technique by the SCD is satisfactory and practicable with micro-coagulant filtration of the raw water from the reservoirs.

Key words: coagulant control; streaming current; streaming current detector; sampling & dosing system; on-line monitoring

准确地投加所需药量不仅是取得较好混凝效果的关键, 而且也是控制制水成本的主要内容。美国 Gerdes 等人在 Quinck^[1]等研究的基础上于 1966 年发明了流动电流检测仪(streaming current detector, 简称 SCD)并发表了第一篇关于 SCD 的论文^[2], 从而使流动电流作为单因子控制进行混凝投药自动控制技术应用于生产实践之中。

SCD 技术自 80 年代问世以来, 就受到了水处理工程界的关注, 首先在美国、英国、法国等国家得到了成功的应用, 但它的应用也存在诸多局限性, 特别是受原水水质及所用混凝剂品种等因素的影响较大。目前, 我国不少水厂引进了 SCD 仪及其相应的自控设备, 有的(在以某水库水为源水的微絮凝过滤中)应用效果良好, 有的则很差, 甚至弃之不用, 造成了资金大量浪费。本研究针对上述情况, 以某水库水为源水通过中试试验, 提出了合适的混凝剂($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)投加量、SCD 设定值、计量泵频率及冲程量等参数, 以期发挥现代化控制管理的作用和效率, 提高供水水质的可靠性。本文仅对 SCD 系统设定值及其在线跟踪作一

收稿日期: 1999-12-19

作者简介: 李伟英(1968-), 女, 安徽宿县人, 工程师, 博士生。

讨论.

1 水源特点、试验内容及仪器设备

1.1 试验原水水质特点

以长江水为水源,通过避咸蓄淡而建成的某水库,水质相对稳定,浊度较低(多在 10 ntu 左右,即使在台风季节也很少超过 50 ntu)、细菌含量较少、与江河水相比藻类有所增加.

1.2 中试内容

搅拌试验——确定系统最佳加药量;SCD 仪设定值(S_p);取样系统流量选定;SCD 自动控制投药在线跟踪.

1.3 测试项目及主要仪器设备

流动电流检测仪:SC5200 型,美国 Milton Roy 公司生产;pH 计:电子式(甘汞电极);计量泵:A963-168S 型,美国 Milton Roy 公司生产(内设变频器及与 SCD 仪连动信号线)与 SCD 联动;浊度仪:2100 N 型,美国 HACH 公司生产;六联定时变速搅拌机:DBJ-621 型,中国湖北潜江搅拌机厂生产;过滤柱:两套直径 $D=280$ mm,高为 4.5 m 的透明有机玻璃滤柱;温度计:0~50℃ 玻璃管水银温度计;秒表、流量计等.试验装置和工艺流程,见图 1.

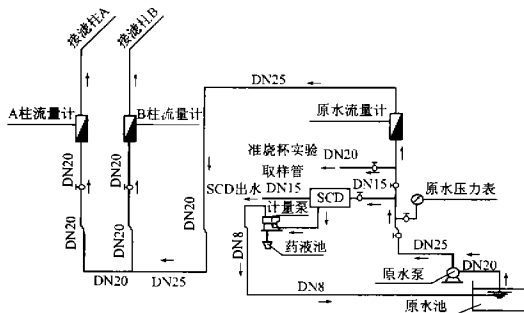


图 1 中试试验工艺流程图

Fig. 1 Technical flow - diagram of middle - test

2 流动电流自动控制系统的研究

自动控制系统所投加的混凝剂必须是无机盐,本试验混凝剂采用硫酸铝. SCD 控制加药试验与过滤试验相结合,将从中得到的有关数据加以分析,以期寻找从加药开始至过滤结束的整个微絮凝阶段的自动控制参数.

2.1 取样系统水样要求及其流量选定

2.1.1 水样要求

水样质量的好坏,是影响水处理自动控制的最重要条件.基于 SCD 工作原理,工艺所取水样应满足以下三点要求^[4]:①保证所取水样的代表性;②保证水样的清洁;③保证水样连续性.

2.1.2 取样流量的选用

流动电流检测是通过水中胶体颗粒在活塞和检测室内壁面连续吸附和解吸来完成.因此,只有水中胶体颗粒的吸附和解吸特性都达到最佳时,检测器灵敏度最高^[5,6].本试验通过阀门来控制水样进入传感器流量的大小,水样流量采用传统的定时体积法测定.在试验中尽量保证原水水质相对稳定(浊度变化在

± 0.3 ntu 之间, pH 变化在 ± 0.5 之间, 水温变化在 ± 0.5 $^{\circ}\text{C}$ 之间, 且原水不加药, 每改变一次水样流量, 观察并记录 SCD 值变化及反应时间, 待系统稳定 3 min 后从检测器上记录读数, 每一水样流量下系统运行 30 min, 试验结果见表 1。通过试验来分析取样流量的大小与检测仪灵敏度及流动电流检测仪实测值 S_c 值之间的关系, 以确定本试验所采用的水样最佳进水量值。

表 1 取样流量与 S_c 值关系Tab.1 Relation between the flow rate of sampling and S_c

SCD 进水量/($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	5.6	4.2	3.0	2.6	2.1	1.8	0.7
S_c	-21.4	-21.9	-22.1	-22.4	-22.8	-23	-23.9
SCD 检测所需时间/s	116	123	141	154	178	199	247

从表中看出: 在同一原水条件下, SCD 仪因不同的出流量, 其值会发生变化, 且随着水样流量的增大, SCD 仪检测值绝对值变小, 信号变弱。所以, SCD 在运行中要保证其出水量 $q_{\text{出}}$ 基本恒定 (考虑本工艺处理系统为微絮凝直接过滤, 试验采用 $q_{\text{出}} = 2.6 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$)。当原水浊度相对大时, SCD 仪出水应适当调大, 增至上限 ($3.0 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$), 以防胶粒沉积在探头土。

2.2 SCD 设定值(S_p)的确定

S_p 值选定的正确与否在自动投药工艺中至关重要。试验中选用硫酸铝作为混凝剂, 其通过搅拌试验获得最佳加药量为 $12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在该加药量条件下, 探求 SCD 最佳设定值及 SCD 在线跟踪的有关参数。需要说明的是: 由搅拌试验所得最佳加药量并非微絮凝过滤中的最佳加药量, 对此后文将给予解释。将已加过混凝剂的原水通过取样管引入 SCD, 测定其流动电流 S_c 值。在试验过程中, 每改变一次加药量, 持续稳定运行 6 min 后, 从取样管中取出若干加药混合后的水样放入 1L 烧杯中, 并置于搅拌机上以 $r = 50 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 慢速搅拌 10 min, 静沉 10 min, 使其完成絮凝与沉淀。取沉淀后上清液, 测定其浊度 (连测三次), 取其平均值。改变加药量 30 min 后记录对应的 SCD 流动电流值, 此时的流动电流值便称为由准烧杯试验确定的 SCD 流动电流 S_c 值。由于本试验是将试验工艺和烧杯试验相结合, 为了有别于纯粹的烧杯试验而称之为准烧杯试验。结果见表 2。

表 2 准烧杯试验加药量与 S_c 对应关系Tab.2 Correspondence relation between dosage and S_c in the permit-jar-test

加药量 $q/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	3.00	5.00	6.00	7.00	7.65	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	14.00	15.00
S_c	-24.5	-20.5	-19.0	-18.1	-17.7	-17.5	-16.7	-15.1	-13.4	-12.3	-10.6	-9.0
加药量 $q/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	16	17	18	19	20	22	23	25	28	30	32	35
S_c	-8.8	-8.3	-8.0	-7.5	-6.5	-6.0	-5.1	-4.0	-2.6	-1.8	1.0	3.6

注: 试验原水水温为 $12.5\sim 15.0$ $^{\circ}\text{C}$, pH = 7.68 ~ 7.80, 原水浊度为 15.59 ~ 18.78 ntu。

2.3 结果与分析

(1) 试验结果表明, S_c 值随着加药量的变化而变化, 为此, 根据试验数据绘制 S_c 与加药量 q 的关系曲线, 见图 2 所示。从图中可知, 随着加药量增大, S_c 值也相应增加。由此证实了 S_c 与胶体 ξ 电位的相关性, 说明在本试验条件下流动电流是衡量混凝效果的一个重要因素。

(2) 本试验中, S_p 值是通过多次试验结合实际生产运行而获得。即在试验过程中, 首先采用手动方式将加药量控制在由搅拌试验所得的最佳值上, 然后进行过滤处理, 使系统运行至预先设定的滤后水浊度 (小于 3 ntu) 为止。记录运行期间的加药量、 S_c 值、原水浊度、滤后水浊度值。经过反复试验得到系统运行性能最好 (过滤周期最长, 加药量最少) 的一个稳定的 S_c 值, 以此 S_c 值作为系统的 S_p 值进行自动加药控制过滤试验。记录运行期间的 S_c 和 S_p 值、原水和滤后水浊度值。经过反复试验, 得到以该水库水为源水, 采用硫酸铝进行混凝过滤的最佳 S_p 值为 -18.0, 考虑到安全因素, S_p 值定为 -17.5。试验结果见图 3。该图是根据 SCD 自动跟踪试验结果绘制的。试验从上午 8:00 开始, 此间系统平均加药量为 $7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 原水平均浊度为 16.1 ntu。试验在 8:00~10:30 期间, S_p 值取 -15.1; 在 10:30~0:30 期间 S_p 值取 -17.5; 在 0:30~次日上午 9:00 期间, S_p 值取 -18.0。试验过程中人为变换三个 S_p 设定值, 旨在通过运行结果找到

适合的最佳 S_p 值. 试验结果表明, 当 $S_p = -15.1$ 时, 滤过水浊度下降很快. 在 10:30 时, 滤过水浊度为 0.23 ntu, 但滤柱水头损失增加较快 (平均 $35 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$); 当 $S_p = -17.5$ 时, 滤过水浊度在 11:00 时为 0.26 ntu, 浊度有明显下调趋势, 滤柱水头损失增加较缓 (平均 $10 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$); 当 $S_p = -18.0$ 时, 滤过水浊度仍有明显下调趋势, 滤柱水头损失增加仍较缓 (平均 $7.9 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$).

影响 SCD 仪设定值的因素较多. 当原水水温较低 (低于 8°C)、浊度较高 (高于 20 ntu)、电解质浓度较大 (如在海潮期) 时, 都会对 S_p 值有一定的影响. 例如, 当 NaCl 等电解质物质增加超过 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 应将 S_p 值适当提高 (1~3) S_c .

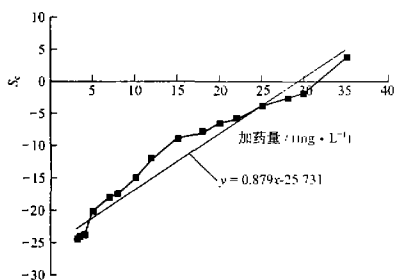


图 2 加药量与 S_c 的相关性曲线
Fig. 2 Relation curve of dosage to S_c

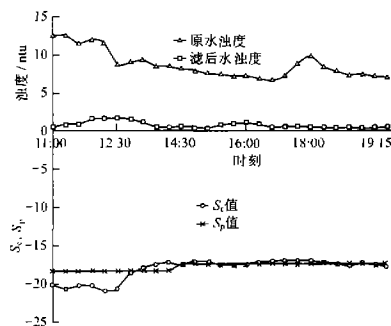


图 3 确定最佳 S_p 值试验图
Fig. 3 Diagram to determine the best S_p

通过对 SCD 的在线跟踪以及试验结果分析, 得到实际过滤试验系统的加药量为搅拌试验所得最佳加药量的 $3/5 \sim 2/3$. 在搅拌试验中, 该水源最佳加药量为 $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 而在微絮凝过滤中, 若仍投加 $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 混凝剂, 则会形成过大絮凝体, 使表层滤料很快堵塞. 例如: 原水浊度为 12.7 ntu, pH 值为 8.10, 水温为 24.5°C 时, 搅拌试验最佳加药量为 $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 而在中试系统中加药量在 $7.2 \sim 8.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 过滤柱过滤周期为 30 h, 过滤水浊度在 1.5 ntu 以下, 完全满足设计要求, 这与某些资料介绍的试验结果相符^[3]. 这一结论解释为: 直接过滤正是当絮凝体 ξ 电位达到最高值时进入滤层的, 因直接过滤不设絮凝池, 这就使本来应在絮凝池中进行的压缩扩散作用转到滤层中进行. 由于微粒在滤床间具有较大亲和力, 因此当 ξ 电位降低时, 微粒就迅速在滤料层中凝聚, 微粒间的吸引力开始发挥作用, 当 ξ 电位接近零时吸引力达到最大值, 脱稳微粒之间及脱稳微粒与滤料之间相互吸附絮凝且不断被滤料截留去除. 此过程是在滤料表层到深部逐步进行的, 从而发挥了滤料深层截污能力, 达到过滤周期长、过滤效果好的作用.

2.4 在线跟踪

对有关设备进行调试运行后, 取最佳设定值 S_p 进行 SCD 自动投药在线跟踪试验, 其试验结果见图 4 和图 5 所示.

图 4 是根据连续 6.5 h SCD 自动跟踪试验结果所得. 试验从上午 11:00 开始, S_p 值取 -18.0 , 此间系统平均加药量为 $7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 滤柱水头损失平均 $7.3 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$.

图 5 是根据连续 12 h SCD 自动跟踪试验结果所得. 试验从上午 8:00 开始, S_p 值取 -18.0 , 此间系统平均加药量为 $7.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 滤柱水头损失平均 $9.1 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$.

试验结果表明: 在校平穩的原水水质情况下, 系统的自动控制状况和出水水质较好, 滤柱工作运行周期可达到或超过设计值. SCD 仪指导计量泵自动加药系统是可行的. 中试试验的加药量在 $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右, 滤后出水浊度在 1 ntu 左右.

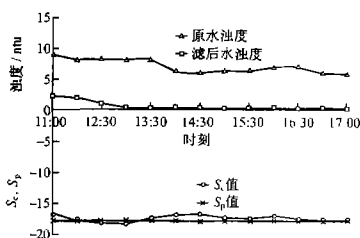


图4 SCD自动投药在线跟踪试验测试图

Fig.4 Diagram of SCD on-line control the dosage

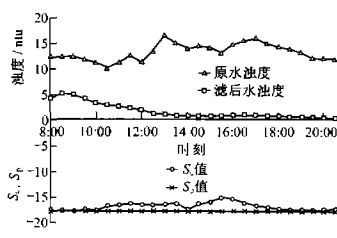


图5 SCD自动投药在线跟踪试验测试图

Fig.5 Diagram of SCD on-line control the dosage

3 结论与建议

- (1) 本试验所列运行参数仅适用于水质及水温较稳定的某水库水源 SCD 自动控制系统。
- (2) 一般情况下,原水浊度小于 20 ntu, S_p 值应为 -17.5。该值应根据不同的原水条件(如海潮期等)进行适当的修正。
- (3) 应保证取样系统流量 $q_{出}$ 基本恒定,本微絮凝直接过滤工艺处理系统采用 $q_{出} = 2.6 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ 。当原水浊度相对大时,SCD 仪出水应适当调大,增至上限($3.0 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$)。
- (4) 加药管线流行时间为 50~60 s。
- (5) 自动加药系统对各种干扰具有很好的调控能力,系统调节响应特性和精度特性均能满足预期要求,SCD 响应时间在 3 min 之内。

参考文献:

- [1] 崔福义,李圭白.流动电及其在混凝控制中的应用[M].哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1995.
- [2] Steven K Dentel, Kristine M Kingery. Using streaming current detectors in water treatment[J]. AWWA, 1989(1): 85-94.
- [3] 李三中.微絮凝直接过滤处理水库水的探讨[J]. 中国给水排水, 1997, 5(5): 17-19.
- [4] Milton Roy. Streaming current detector model SCS200 instruction manual[M]. New Orleans: Milton Roy Co, 1996.
- [5] 杨万东,杨振海,李虹,等.流动电流检测器取样流量的分析与研究[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1996, 29(4): 52-56.
- [6] Steven K Dentel, Angela V Thomas, Kristine M Kingery. Evaluation of the streaming current detector—2. continuous flow tests[J]. Water Research, 1989(4): 423-430.