

文章编号: 1008-9225(2006)02-0073-04

# 低浊度出水条件下给水处理系统优化运行的中试研究

赵志伟<sup>1</sup>, 高 晗<sup>2</sup>, 崔福义<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090;

2. 辽宁省节水和污水处理服务中心, 辽宁 沈阳 110015)

**摘 要:** 在实验室模型试验中得出了最经济沉后水浊度的存在性, 为了进一步验证最经济沉后水浊度在天然原水和连续运行系统中的可行性, 在天津J水厂进行了中试, 研究表明, 最经济沉后水浊度在中试系统的运行中仍然存在, 在2003年9月到11月3个月的连续运行中发现, 存在浊度3.0 NTU的最经济沉后水浊度值使系统综合可变费用最低, 与天津J水厂的现行控制沉后水浊度2.0 NTU相比较, 可以实现节约综合可变费用8%~11.6%。

**关键词:** 给水处理系统; 优化运行; 沉后水浊度; 可变费用

**中图分类号:** U 823 **文献标识码:** A

给水处理系统优化运行是保证处理水质和降低运行成本的重要手段<sup>[1]</sup>, 2001年的《生活饮用水卫生规范》对给水处理系统出水浊度的新规定, 使得供水企业在保证供水水质的情况下实现运行的经济性。通过建立模拟水厂实际情况的净水系统, 研究在低出水浊度的条件下, 给水处理系统各个工艺环节之间优化运行的规律及运行可变费用的变化趋势, 初步建立给水处理系统优化运行的基本模式, 验证了最经济沉后水浊度的存在性, 从而为建立给水系统优化运行基本模式, 指导生产实践提供理论基础。

给水处理系统优化研究的基本思想是通过对给水处理系统目标函数的分析, 在各项单元费用中均含有的可变参数是沉淀出水浊度, 考虑以沉淀出水浊度为核心控制参数, 在满足各约束条件的范围内, 通过大量的试验研究, 找出使给水处理系统最优运行的经济沉后水浊度, 并对整个系统和各单元在该浊度下运行的可变费用进行分析, 得出以最经济沉后水浊度为主要控制参数的水厂

优化运行方法<sup>[2]</sup>。

给水处理系统优化运行的目标函数——综合运行费用<sup>[3]</sup>, 也称综合可变费用( $F$ ), 主要由混凝剂费用( $F_1$ ), 排泥水费用( $F_2$ )和反冲洗水费用( $F_3$ )三部分组成, 用数学公式表达为:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 = C_1 y^a s^{-b} Q^c t^{-d} + C_2 \frac{V_1(y-s)}{E} + C_3 \frac{V_2}{e} s$$

式中,  $C_1$  为混凝剂单价(元/kg);  $C_2$  为排泥水单价(元/ $m^3$ );  $C_3$  为反冲洗水单价(元/ $m^3$ );  $y$  为原水浊度(NTU);  $s$  为沉后水浊度(NTU);  $Q$  为原水流量(L/s);  $t$  为水温( $^{\circ}C$ );  $a, b, c, d$  为待定系数(由数据回归求得);  $V_1$  为每次排泥耗水量( $m^3$ );  $V_2$  为每次反冲所耗水量( $m^3$ );  $E$  为泥斗储泥量( $m^3$ );  $e$  为滤池储泥量( $m^3$ )。

## 1 试验方法

在天津市J水厂现场模仿水厂工艺流程建设一套中试模型, 其工艺流程如图1。

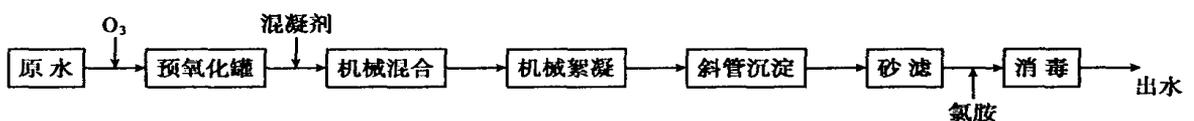


图1 设备工艺流程图

收稿日期: 2005-11-16

作者简介: 赵志伟(1976-), 男, 黑龙江龙江人, 哈尔滨工业大学博士研究生。

该中试设备的设计净水能力为  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ , 混凝剂采用  $\text{FeCl}_3$ , 单价为 2700 元/t。

试验期间原水的主要水质状况见图 2。原水来自滦河, 浊度较低, 变化范围在 10.0 ~ 25.0 NTU 之间,  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的变化范围是 3.0 ~ 4.8  $\text{mg}/\text{L}$ , pH 值为 6.5 ~ 7.5, 水质总体情况比较稳定, 且各项指标均满足水源水质的要求。

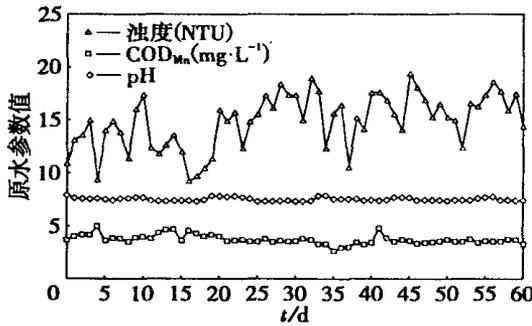


图 2 原水主要水质参数

## 2 试验结果分析

### 2.1 混凝工况

参考水厂同期运行生产数据, 调节混凝剂投加量, 以获得不同沉后水浊度。沉后水浊度和混凝剂投加量的关系曲线见图 3。

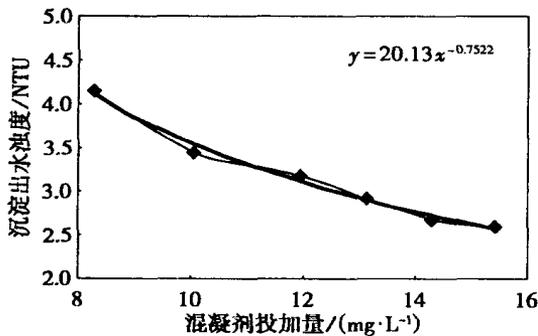


图 3 混凝剂投加量和沉后水浊度的关系

从图中可知, 混凝剂投加量随着沉后水浊度的降低而升高, 大致呈幂函数关系, 其相关方程为  $y = 20.13x^{-0.75}$ , 与小试提出的趋势是基本一致。

的。由于原水在试验阶段属于浊度较低时期, 水中含有的细小颗粒多, 而相对大的颗粒数量较少。从混凝机理的角度考虑, 由于缺少大颗粒的存在, 使得絮凝形成大的絮体的速度和数量减慢, 而且随着沉淀出水浊度的降低, 混凝剂的投加量增加得很快, 取得的沉淀效果不是很理想<sup>[4]</sup>。

### 2.2 过滤周期

#### (1) 过滤周期与沉后水浊度的关系

在不同的沉后水浊度条件下, 测定过滤单元的相关运行数据, 过滤周期、周期末水头和滤后水浊度等参数见表 1。

表 1 沉后水浊度与过滤周期的关系

沉后水浊度 NTU	过滤周期 h	周期末滤后水	
		水头损失/m	浊度/NTU
4.16	10	2.5	0.523
3.45	11	2.5	0.389
3.17	12	2.5	0.412
3.00	14	1.8	0.395
2.68	14	1.5	0.365
2.59	14	1.7	0.28

从表中可以发现: 滤池的过滤周期主要由压力周期和最大允许周期确定; 沉后水浊度高的过滤周期短。

#### (2) 沉后水浊度与滤池反冲洗时间的关系

在滤池运行过程中, 当滤池的水头损失、滤池的出水浊度达到一定数值时必须进行反冲洗, 反冲洗效果的好坏是影响滤池运行的一个关键因素<sup>[5]</sup>。试验中滤池的反冲洗采用气水三段式反冲洗方法, 本部分试验设定在反冲洗强度不变的情况下, 即单气冲为  $8 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ , 气水联合反冲的气水比为 6/160, 单水反冲洗强度  $8 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$  不变, 改变单气冲、气水联合反冲和单水冲洗的时间, 每隔 5 s 取反冲洗排水测定其浊度, 反冲洗结束后取滤池石英砂表面下 15 cm 处的滤料测量其含泥量。反冲洗排水浊度和滤料含泥量试验结果见表 2。

表 2 滤料含泥量和排水浊度与气水反冲洗时间的关系

序号	反冲洗时间/min			距砂面 15 cm 的含泥量 %	反冲洗结束排水浊度 NTU
	单气冲	气水同时冲	单水冲		
1	2	3	4	0.19	3.50
2	2	3	4	0.18	3.30
3	2	3	4	0.15	3.01
4	2	2	3	0.20	4.03
5	3	2	3	0.15	2.52
6	3	2	3	0.16	2.23

试验结果显示: 6 组实验的冲洗效果都能将滤池滤料的含泥量降到 0.2% 以下, 且冲洗效果

基本相同, 反冲洗结束排水的浊度为 3 NTU 左右, 考虑降低能耗, 5、6 组的用时较少为 8 min,

且反冲洗的效果较好,比较合理.虽然第 4 次试验反冲洗时间较短,但是其含泥量和反冲洗结束排水浊度偏高,故不可取.由于单气冲时气泡在滤层中的运动速度较大,滤料强烈的翻滚,相互碰撞,通过剪切和摩擦作用,使滤料表面的污物脱落,结合模拟试验结果以及过滤周期的讨论结果,气冲时间稍长对滤料表面杂质的去除效果好,因此选择 5、6 组时间参数控制反冲洗.

滤池反冲洗的出水浊度和冲洗时间的关系如图 4 所示.由图中可以看出,在反冲洗开始的前 4 min 内,滤池反冲洗出水浊度下降幅度很大,随着反冲洗时间的延长,出水浊度下降较为平缓,在反冲洗 8 min 后,出水浊度为 3 NTU.时间再延长,出水浊度下降极为缓慢,说明再延长反冲洗时间,冲洗效果不再有大的提高,因此把反冲洗时间定为 8 min.

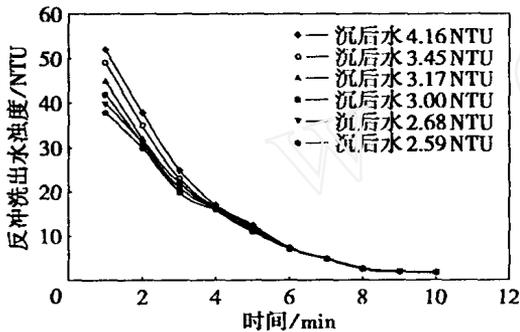


图 4 反冲洗时间和排水浊度的关系

(3) 滤池反冲洗耗水率与沉后水浊度的关系

在综合可变费用中,滤池反冲洗水费占有较大的比重.因此,有必要考虑滤池反冲洗耗水率和沉后水浊度的关系.反冲洗耗水率指的是反冲洗水量和滤池过滤水量的比值,是衡量滤池工作效率的参数.图 5 是反冲洗耗水率和沉后水浊度的关系曲线.由图中可以看出,随着沉后水浊度的升高,反冲洗耗水率增加.这是由于沉后水浊度的增加,使得进入滤池的水中悬浮物增加,滤池的工作周期缩短,反冲洗耗水量增大,在滤池相同过滤水量的条件下,使得滤池的反冲洗耗水率增加.

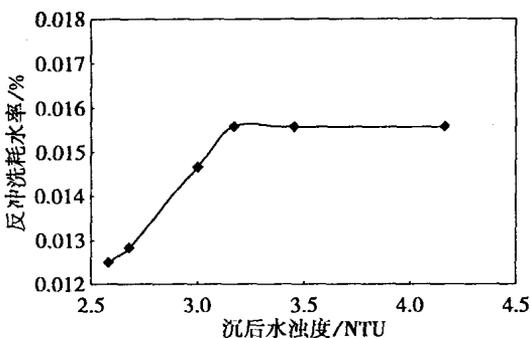


图 5 反冲洗耗水率和沉后水浊度的关系

3 系统优化分析

3.1 滤后出水 COD<sub>Mn</sub>的约束

根据《生活饮用水水质规范》中对于水厂出水的高锰酸盐指数(有机物含量)的规定,给水处理厂滤后水的 COD<sub>Mn</sub>要小于 3.0 mg/L.为此,应该考虑在优化参数运行的条件下,水厂的出水是否符合对高锰酸盐指数含量的要求.

由图 6 可以看出:在通过砂滤之后,出水的 COD<sub>Mn</sub>基本满足出水水质的要求;系统的沉淀出水浊度与滤后水 COD<sub>Mn</sub>的相关性不是很明显,即,在水厂以最优沉后水浊度为参数运行时,滤后出水的 COD<sub>Mn</sub>完全符合水质标准的要求.

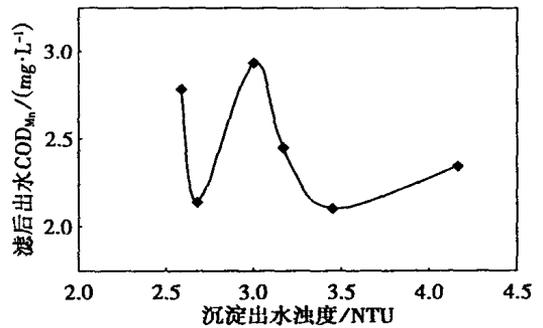


图 6 滤后出水 COD<sub>Mn</sub>

3.2 综合可变费用分析

通过以上中试系统试验的研究,得出各单元工艺的运行参数规律,下面研究在不同沉淀池出水浊度条件下,系统各单元工艺运行可变费用和系统综合可变费用的情况,找出使综合可变费用最小的沉后水浊度范围,从而使系统的运行在经济上实现最优.结合前面的工况分析,得到各项可变费用的变化曲线如图 7.

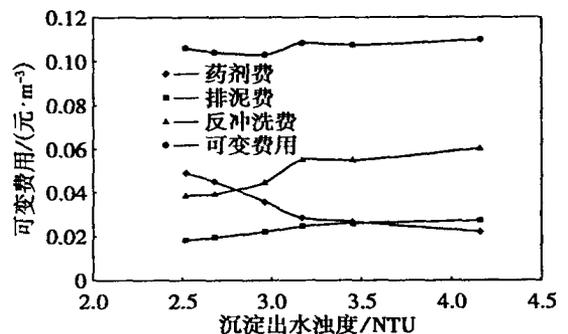


图 7 可变费用和沉后水浊度的关系

由图 7 可知,在满足出水水质达标的前提下,综合可变费用并不是随着沉后水浊度的下降而减少,而是随着沉后水浊度的升高先减少后增加,在沉后水浊度变化的范围内,曲线上波谷点对应的沉后水浊度即为最经济沉后水浊度,通过插值法得出该值为 3.0 NTU.

#### 4 经济比较

将系统常规运行条件下(沉后水浊度小于 2 NTU)的可变费用与高效经济运行条件下(3.0 NTU)的可变费用比较,以评价两种运行方式的经济效益。表 3 表明,中试水处理系统的可变费用

与原水浊度的相关性较高。

由表中可见,采用高效经济方式运行的确可以节约可变费用,可变费用的节约程度可达 8% ~ 11.6%。由此可见,水处理系统采用了高效经济运行方式,在满足出水水质要求的前提下,降低了供水费用。

表 3 高效经济方式与常规方式的经济比较

原水水质		综合可变费用/(元·m <sup>-3</sup> )		节约可变费用
浊度/NTU	COD <sub>Mn</sub>	常规运行	高效经济运行	%
9.70	4.28	0.1210	0.1089	10.8
12.0	3.58	0.1325	0.1171	11.6
14.0	3.76	0.1523	0.1401	8.0
16.0	3.92	0.1802	0.1665	10.6

#### 5 结 论

(1) 中试试验系统的研究主要是根据运行数据,讨论低浊度出水条件下,水处理系统优化运行的基本规律,得到各单元工艺在优化运行中的参数。

(2) 通过中试系统混凝剂费、排泥费和反冲洗费以及综合可变费用的分析,验证了最经济沉后水浊度的存在,得出了系统运行的最经济沉后水浊度范围 3.0 NTU。

(3) 系统运行可变费用的节约程度可达 8% ~ 11.6%,将优化运行策略推广应用到实际生产

中,能够为水厂节能挖潜贡献力量。

#### 参考文献:

- [1] 田一梅. 水处理系统优化运行[J]. 中国给水排水, 1999, 15(5):5-9.
- [2] 石明岩. 给水处理系统高效运行研究之二——相关关系的试验研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1999, (6):9-11.
- [3] 徐勇鹏. 低浊度条件下给水系统优化运行策略的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨建筑大学, 2004.
- [4] Dekkers. The self-preserving size distribution theory: Comparison with results for Si and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> aerosols[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2002, 248:306-314.
- [5] Gregory J, Duan J. The effect of dissolved silica on the hydrolyzing metal coagulations [J]. *Water Science and Technology*, 1998, 38(6):113-120.

## Pilot Study on Optimized Motion of Potable Water Treatment System Under Lower Settled Water Turbidity

ZHAO Zhiwei<sup>1</sup>, GAO Han<sup>2</sup>, CUI Fuyi<sup>1</sup>

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Water Stint and Sewage Treatment Service Center of Liaoning, Shenyang 110015, China)

**Abstract:** In jar test, it is demonstrated that there is the most economic turbidity of settled water. In order to verify its possibility in nature water and continuous operation system, the pilot-scale experiments is operated in Tianjin J water plant. The results show that the most economic turbidity of settled water also exists in the system. Under the continuous operation from September to November in 2003, it is found the most economic settled turbidity is 3.0 NTU, which can make the total variable costs of system be the lowest, comparing to 2.0 NTU which controlled by J plant in Tianjin, it can reduce its total variable costs of system by 8% ~ 11.6%.

**Key words:** potable water treatment system; optimized motion; settled water turbidity; alterable cost

【责任编辑 刘晓鸥】