

# 机械搅拌频率对混凝效果的影响研究

苏俊峰, 邱治国, 朱侃苏

(济南泓泉制水有限公司 玉清水厂, 山东 济南 250117)

**摘要:** 济南市玉清水厂(规模为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ )采用常规处理工艺,原水浊度常年低于2.5 NTU,为低浊度原水,在此条件下,研究机械搅拌混合阶段的搅拌频率对混凝效果的影响,进行周期性生产试验,得到了不同阶段的最佳机械搅拌频率和最优 $G$ 值,并将其用于指导实际生产,将 $G$ 值参数引入水厂Citect自动控制系统,实现了机械搅拌频率的自动控制。

**关键词:** 混凝; 机械搅拌频率;  $G$ 值; 自动控制

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)01-0068-03

## Influence of Stirring Frequency on Coagulation Performance

SU Jun-feng, QIU Zhi-guo, ZHU Kan-su

(Yuqing Waterworks, Jinan Hongquan Water Production Co. Ltd., Jinan 250117, China)

**Abstract:** Jinan Yuqing Waterworks with the capacity of  $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  adopts conventional processes to treat raw water with turbidity of below 2.5 NTU. Under this condition, the influence of stirring frequency in mechanical stirring and mixing phase on the coagulation performance was investigated. Periodical production tests were performed, and the optimal mechanical stirring frequencies and the optimal  $G$  values in different phases were obtained and used to guide the practical production. The automatic control of mechanical stirring frequency was achieved using  $G$  value parameters in Citect automatic control system for the waterworks.

**Key words:** coagulation; mechanical stirring frequency;  $G$  value; automatic control

玉清水厂2001年7月建成供水,设计供水规模为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。原水为黄河水,经玉清湖水水库泥沙处理后进入水厂,原水浊度常年低于2.5 NTU,为低浊水,水处理工艺为常规工艺,投加的混凝剂为聚合氯化铝铁(PAFC)。2011年10月在国家水专项示范工程项目中,玉清水厂进行了部分工艺升级改造,其中在1<sup>#</sup>和2<sup>#</sup>沉淀池前端增设机械搅拌混合池替代了原静态管道混合,同时把沉淀池尾端改造为气浮池。工艺流程如下:原水投加PAFC→机械搅拌池混合→折板反应池絮凝→平流沉淀池沉淀→气浮池曝气→砂滤池过滤→加氯消毒→清水池。笔者主要研究在低浊度情况下改变机械搅拌频率对混凝效果的影响,确定机械搅拌在不同水质条件下的最佳 $G$ 值,在保证出水水质的前提下通过引入理论 $G$

值参数指导实际生产,完善自控程序,更好地控制机械搅拌频率和药剂的投加量,降低水处理成本,提高出水水质。

### 1 机械搅拌池设计概况

机械搅拌池有效容积为 $40.5 \text{ m}^3$ ,停留时间为33 s,内装有一套搅拌机(功率为7.5 kW),设计转速为42 r/min。搅拌混合阶段是影响后续絮凝效果的关键,而在机械混合池的设计资料中并未给出搅拌机各参数的具体设计依据,设计手册中也只是规定了搅拌机转速的范围。当水温、原水浊度等水质条件发生变化后,在确保现有混凝、沉淀工艺除浊效果的前提下,是否存在通过改变搅拌机转速、调整搅拌 $G$ 值以降低矾耗的可能性,即不同的水质条件下,搅拌频率是否有一个最优值?为研究清楚此问

题,水厂在 2014 年 3 月将机械搅拌池的搅拌装置由工频电机改为变频电机,同时提高电机功率至 11 kW,更换了减速机,使搅拌机叶轮转速由原来的 42 r/min 改为 0 ~ 110 r/min 可调。通过调节转速,以获得最优  $G$  值(既达到充分的混合效果又不使絮体破碎),达到最好的混凝效果。

## 2 试验设计与结果分析

水厂原水经过水库沉沙处理后,进水浊度比较稳定。在同一个试验周期中,控制沉淀池进水流量和加矾量基本不变,在高、低温期考察仅改变搅拌频率时混凝前后水质的变化情况。

首先测试在不同搅拌频率下药剂混合效果的优劣程度,以初步确定周期性试验阶段搅拌频率的设定范围;之后选择全年温度最高的 7 月—8 月和温度最低的 12 月—次年 1 月这两个代表性时间段,周期性地改变搅拌机频率,在较长的周期内利用在线仪表监测各水质参数。通过对比混凝前后水质的变化情况,判定在不同水质情况下搅拌频率的最优设定值,并通过甘布公式计算得到最优  $G$  值,在保证沉淀池混凝效果的前提下有效减少矾耗。

### 2.1 混合效果试验

在不同的搅拌频率下,在机械搅拌池四角取水(体积均为 10 mL),通过光谱试验测定 4 份水样中的铝离子浓度,以判断药剂分布的均匀程度,结果见表 1。其中, $E$  值为光谱检测值, $C$  值为铝离子浓度(由于加药量不同,单体浓度数据不作为参考,只比较浓度偏差)。

表 1 混合效果试验结果

Tab. 1 Results of mixing effect test

搅拌频率/Hz	水样编号	$E$ 值	$C$ 值/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
20	1	0.267	0.13
	2	0.337	0.16
	3	0.256	0.13
	4	0.237	0.12
30	1	0.259	0.13
	2	0.236	0.12
	3	0.233	0.12
	4	0.187	0.10
40	1	0.226	0.11
	2	0.229	0.11
	3	0.232	0.11
	4	0.227	0.11

从表 1 可以看出,在 20 Hz 条件下,铝离子浓度分布差异较大,药剂混合效果较差;在 30 Hz 条件

下,铝离子浓度分布较为均匀,药剂混合效果有所改善;在 40 Hz 条件下,铝离子浓度分布最均匀,药剂混合效果最好。据此可知,机械搅拌对药剂混合效果有明显改善作用;在机械搅拌频率为 40 Hz 时药剂混合效果最好,药剂基本可与原水均匀混合;预计再提升机械搅拌频率对药剂混合效果并不会会有更大改善。

### 2.2 周期性试验

#### 2.2.1 高温期试验结果

2014 年 7 月—8 月,将 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>机械搅拌池的搅拌机频率在 25 ~ 40 Hz 范围内进行调整,对比除浊率的变化。其中,1<sup>#</sup>沉淀池的试验数据如表 2 所示(2<sup>#</sup>沉淀池的试验数据与 1<sup>#</sup>沉淀池的类似)。

表 2 1<sup>#</sup>沉淀池的试验数据

Tab. 2 Experimental data of 1<sup>#</sup> sedimentation tank

搅拌频率/Hz	水温/ $^{\circ}\text{C}$	进水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	加药量/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$	原水浊度/NTU	出水浊度/NTU	除浊率/%
25	24	3 029	6.6	1.34	1.02	23.9
30	23	3 052	6.5	1.48	1.09	26.4
35	23	3 195	6.1	1.63	1.05	35.6
40	22	3 195	6.1	1.59	1.05	34.0

从表 2 可以看出,试验中原水水温、进水量、加药量基本一致,原水浊度波动不大,仅搅拌频率发生变化;当搅拌频率由 25 Hz 提升到 30 Hz 时,除浊率升高 2.5%;当搅拌频率由 30 Hz 提升到 35 Hz 时,除浊率升高 9.2%,变化比较明显;当搅拌频率由 35 Hz 提升到 40 Hz 时,除浊率反而下降了 1.6%,分析原因可能是较高的搅拌频率增大了水的剪切力,导致已经形成的矾花破碎,从而影响混凝效果。由此推断,在高温季节、水温为 23  $^{\circ}\text{C}$  左右时,搅拌机的搅拌频率宜设定为 35 Hz。

#### 2.2.2 低温期试验结果

2014 年 12 月—2015 年 1 月,将 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>机械搅拌池的搅拌机频率在 25 ~ 45 Hz 范围内进行调整,对比除浊率的变化。其中,1<sup>#</sup>沉淀池的试验数据如表 3 所示(2<sup>#</sup>沉淀池的试验数据与 1<sup>#</sup>沉淀池的类似)。可以看出,当搅拌频率由 25 Hz 提升到 30 Hz 时,除浊率升高 0.7%;当搅拌频率由 30 Hz 提升到 35 Hz 时,除浊率升高 1.8%;当搅拌频率由 35 Hz 提升到 40 Hz 时,除浊率升高 2.8%;当搅拌频率由 40 Hz 提升到 45 Hz 时,除浊率反而下降了 0.2%,分析原因与高温期相同,但冬季浊度较低,形成的矾花较为

细小,受剪切力影响较小。由此推断,在低温季节、水温为9℃左右时,搅拌机的搅拌频率宜设定为40 Hz。

表3 1#沉淀池的试验数据

Tab.3 Experimental data of 1# sedimentation tank

搅拌频率/Hz	水温/℃	进水量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	加药量/(g·m <sup>-3</sup> )	原水浊度/NTU	出水浊度/NTU	除浊率/%
25	9	3 248	9.2	1.32	1.14	13.6
30	9	3 365	9.3	1.26	1.08	14.3
35	8	3 350	9.3	1.24	1.04	16.1
40	10	3 405	9.4	1.22	0.99	18.9
45	9	3 297	9.3	1.23	1.00	18.7

冬季低温低浊水处理是水厂一直以来的难题,对比冬季和夏季的试验数据可知,冬季水温明显低于夏季,原水浊度降低,进水量略有升高,除水温外其他水质条件变化不大,但在提高加药量约47.6%后,除浊率却有所降低,在最优搅拌频率下除浊率降低约46.6%。冬季低温低浊期更加需要准确的指导性加药量,以保证混凝效果、降低药耗。

### 2.2.3 最优G值计算

根据上述试验数据来计算G值。计算公式<sup>[1]</sup>如下:

$$G = \sqrt{\frac{1000\eta_1\eta_2N}{\mu V}} \quad (1)$$

式中,V为搅拌池的有效容积,m<sup>3</sup>;N为电机功率,kW; $\eta_1$ 为搅拌设备机械效率,约为0.75; $\eta_2$ 为传动系统的效率,为0.6~0.9; $\mu$ 为动力粘度系数,Pa·s。

通过查表得到,水温为23℃时,水体粘度系数为 $0.941 \times 10^{-6}$  kPa·s;水温为9℃时,水体粘度系数为 $1.347 \times 10^{-6}$  kPa·s。电机功率为11 kW,搅拌机额定频率为50 Hz,搅拌池的有效容积为40.5 m<sup>3</sup>。代入式(1)得: $G_{23} = 953.5 \text{ s}^{-1}$ , $G_9 = 852.0 \text{ s}^{-1}$ 。

综上,夏季水温最高(约为23℃)时最优G值为 $953.5 \text{ s}^{-1}$ ;冬季水温最低(约为9℃)时最优G值为 $852.0 \text{ s}^{-1}$ 。

### 3 理论G值的实际应用

通过上述试验过程和数据计算,得到了高温期和低温期的极限最优G值,实际生产中春、秋两季原水水温在极限温度之间呈现规律性波动,搅拌频率的最优范围应在35~40 Hz之间,最优G值取极

限温度间的平均值即 $902.8 \text{ s}^{-1}$ 。

将指导性G值引入水厂Citect自控程序,通过加药间控制系统的上位编程调用搅拌频率控制函数,从而计算输出频率值,实时控制机械搅拌池的搅拌机转速,实现机械混合搅拌的最优控制。

### 4 结论

水厂原水经水库沉沙处理后,浊度常年低于2.5 NTU且变化幅度较小;原水温度变化较明显,夏季高温期最高水温约为23℃,冬季低温期最低水温约为9℃,春、秋两季水温在9~23℃之间。按原水温度变化经试验分析得到:夏季高温期的最佳搅拌频率为35 Hz,此时最优G值为 $953.5 \text{ s}^{-1}$ ;冬季低温期的最佳搅拌频率为40 Hz,此时最优G值为 $852.0 \text{ s}^{-1}$ ;春、秋两季的最佳搅拌频率在35~40 Hz之间,最优G值取极限温度间的平均值即 $902.8 \text{ s}^{-1}$ 。

将此试验结果引入水厂自控程序后,还应当经过较长时间的实际生产工作进行验证。同时,影响混凝效果的因素有很多,本次研究仅在机械搅拌频率方面做了一些探讨,在今后的工作中,还将更加细化和深入研究其他因素对混凝沉淀工艺的影响。

### 参考文献:

- [1] 上海市政工程设计研究院. 给水排水设计手册(第3册):城镇给水(第2版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.



作者简介:苏俊峰(1968—),男,山东滨州人,本科,工程师,主要从事净水厂处理工程建设和生产管理工作。

E-mail:yqsc1234@163.com

收稿日期:2016-06-12