

# 净水厂生产废水回用优化调试的中试研究

朱世俊, 徐勇鹏, 陈 停, 崔福义

(哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

**摘 要:** 采用中试模型对夏、冬两季净水厂生产废水回用进行了优化调试研究,考察了滤池反冲洗水和沉淀池排泥水在不同回用配比情况下,混合水浊度对达标投药量与节药率的影响。结果表明,在满足沉后水出水浊度达标( $<2.5$  NTU)的前提下,夏季时最适回用比为6%:4%(冲洗水:排泥水),最佳混合水浊度范围为100~175 NTU,混凝剂达标投药量为4~5 mg/L,此时相应的节药率为33.3%;相比之下,冬季时最适回用比为6%:2%(冲洗水:排泥水),最佳混合水浊度范围为80~105 NTU,节药率为25%,达标投药量为9~10 mg/L。在连续回用过程中沉后水浊度并未出现富集现象。

**关键词:** 废水回用; 回用比; 混合水浊度; 温度; 节药率

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)07-0054-04

## Optimization of Recycling Sludge in Drinking Water Treatment: Pilot-scale Study

ZHU Shi-jun, XU Yong-peng, CHEN Ting, CUI Fu-yi

(School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

**Abstract:** Pilot-scale experimental models to optimize the operation of recycling sludge in both summer and winter were applied, and the impact of blended water turbidity on coagulant dosage was investigated at different recycling ratios of sedimentation sludge to filter backwash water. The results indicated that, to meet the effluent turbidity standard ( $<2.5$  NTU), the optimized recycling ratio was 6% : 4%, and the blended water turbidity was in range of 100 – 175 NTU in summer. The corresponding coagulant dose was in range of 4 – 5 mg/L, which was reduced by 33.3%. In winter, the optimized recycling ratio was 6% : 2%, and the blended water turbidity was in range of 80 – 105 NTU. The corresponding coagulant dose was in range of 9 – 10 mg/L, reduced by 25%. No significant accumulation was observed in sedimentation effluent turbidity during the entire recycling process.

**Key words:** waste water recycle; recycling ratio; blended water turbidity; temperature; saving efficiency of coagulant

许多研究表明,废水回用在饮用水强化处理工艺和污水一级处理中均得到广泛运用,是一种有效、

经济的工艺技术<sup>[1~3]</sup>。反冲洗水回用于混凝阶段,可有效提高原水  $UV_{254}$  和 TOC 的去除率<sup>[4]</sup>。沉淀池

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07408001)

通信作者: 徐勇鹏 E-mail: xuyongpeng@hit.edu.cn

排泥水的直接回用也可强化混凝,起到节水、节药的作用<sup>[5~7]</sup>。污水处理中,合理回用给水处理中沉淀池产生的污泥可有效去除污水中的磷、硼、硝酸盐以及硫化物等污染物<sup>[8]</sup>,并能提高 COD 的去除率。

之前的研究主要运用烧杯小试对出水水质和机理进行分析,并没有设计中试模型来进一步模拟水厂实际运行状况;沉淀池排泥水和滤池反冲洗水同时以一定配合比直接回用是否也能起到理想效果也需进一步探究。本次中试分别在夏、冬两个季节对两种生产废水的回用配比进行优化调试,在满足沉淀池出水浊度 < 2.5 NTU 的前提下,寻找不同温度下的最佳回用比以及最佳混合水浊度范围;确定最佳回用比废水回用运行过程中的最大节药率;最终确定不同季节下的回用工艺参数,并进行简要的经济分析,从而指导实际水厂运行与改造。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验用水水质

中试原水来自我国东北地区 DQ 市某水库水源,对其主要水质指标进行了检测。夏季时,进水浊度为 4.5 ~ 5.5 NTU,色度为 30 ~ 50 度,UV<sub>254</sub> 为 0.05 ~ 0.09 cm<sup>-1</sup>,TOC 为 4.5 ~ 5.5 mg/L,pH 值为 7.5 ~ 8.3;冬季时,指标略有提高,浊度为 5.0 ~ 5.5 NTU,色度为 50 ~ 60 度,UV<sub>254</sub> 为 0.08 ~ 0.10 cm<sup>-1</sup>,TOC 为 5.5 ~ 7.5 mg/L,pH 值为 7.7 ~ 8.5。可见,原水为典型的低浊度、高色度、中等有机物量的弱碱性水体。冬季受低浊影响,其常规水处理难度增加。

### 1.2 分析方法与仪器

温度、pH 值: DELTA - 320 pH 计;浊度: 哈希 2100AN 浊度仪;色度: 比色皿厚度为 5 cm,采用 DR5000 紫外分光光度计测定;UV<sub>254</sub>: 水样经 0.45 μm 滤膜过滤,测定波长为 254 nm,比色皿厚度为 1 cm,采用 DR5000 紫外分光光度计测定;TOC: TOC 分析仪。

## 2 结果与讨论

### 2.1 中试装置启动

水处理技术研究中试基地位于我国东北地区 ZY 饮用水处理厂。该试验模型包括两套平行系统,其中一套用作废水回用工艺装置,记为 1<sup>#</sup>,另一套用于常规水处理工艺装置(不含回用设备),记为 2<sup>#</sup>。常规饮用水处理工艺系统包括 4 部分,分别为混凝、沉淀、过滤、消毒,如图 1 所示。每套系统处理量为 5 m<sup>3</sup>/h,混凝剂采用聚合氯化铁铝(PFAC)。

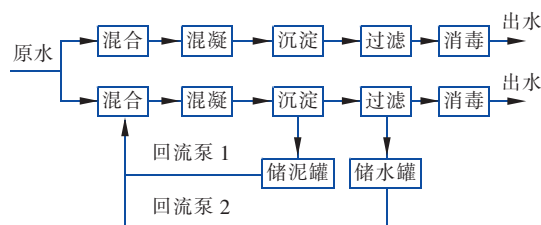


图1 连续中试流程

Fig.1 Flow chart of continuous pilot-scale experiment

沉淀池污泥由斜板沉淀池产生,通过穿孔排泥管回收于圆柱形不锈钢储泥罐中,罐内部设有机械搅拌桨匀速搅拌,使污泥浓度均匀并防止沉淀。污泥通过回流泵1将排泥水回用至静态混合器前端,夏季污泥长期储存超过 10 d 会发生厌氧腐化,因此排泥周期为 12 d。砂滤池每经 24 h 反冲洗一次,反冲洗水收集于圆柱形不锈钢储水罐中,罐内同时设有搅拌桨,预防颗粒物沉降,反冲洗水再通过回流泵2输送至静态混合器前端,与原水混合后进入后续处理单元。

净水厂生产废水占制水量的 6% ~ 10%,其来源主要有滤池反冲洗水和沉淀池排泥水,滤池反冲洗水比例一般在 4% ~ 6%,浊度及含固率较低,排泥水比例一般在 2% ~ 4%,结合中试实际情况,调节回流泵1控制沉淀池排泥水以 2%、3%、4% 回用,调节回流泵2控制滤池反冲洗水以 4%、5%、6% 回用。

### 2.2 反冲洗水与排泥水联合回流比的优化试验

为考察滤池反冲洗水和沉淀池排泥水在不同回用比组合下对节药率的影响及确定最佳混合水浊度范围,对不同季节两种废水的浊度进行了测定。夏季沉淀池排泥水浊度范围大致在 5 500 ~ 6 500 NTU,而冬季相对较低,为 2 300 ~ 2 800 NTU。夏、冬两季反冲洗水浊度差别不明显,夏季为 22 ~ 36 NTU,冬季为 17 ~ 31 NTU。说明温度也会影响污泥的性质,在低温下形成的沉淀池污泥浊度较低,且絮体松散,密实度较小,沉降性和分离效果较差<sup>[9]</sup>。

在夏、冬两季试验中分别考察不同配比组合对强化混凝时节药率的影响,结果见图 2。节药率表示在两平行系统沉后水浊度满足(2 ± 0.5) NTU 时回用工艺的达标投药量较不回用时的节省值。反冲洗水:沉淀池排泥水分别为 4% : 2% (A)、4% : 3% (B)、4% : 4% (C)、5% : 2% (D)、5% : 3% (E)、5% : 4% (F)、6% : 2% (G)、6% : 3% (H)、

6% : 4% (I)。

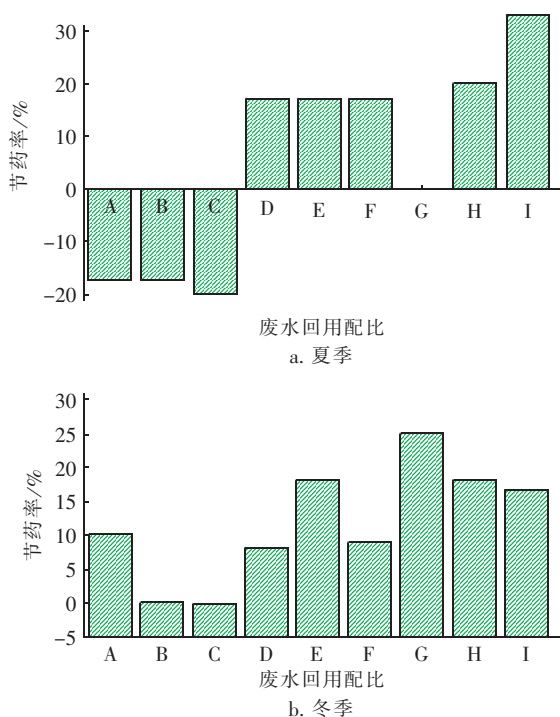


图2 夏、冬两季不同废水回用比对节药率的影响

Fig.2 Effect of recycling ratios on saving efficiency of coagulant in different seasons

由图2可知,在夏季,后六组回用比条件下的节药率均为正值,其中6% : 2%组合节药率为零,而6% : 4%组合节药率高达33%,从而表明在沉淀池排泥水浊度为5 500 ~ 6 500 NTU范围时,反冲洗水与沉淀池排泥水的回用比为6% : 4%时可实现最大节药率。在满足沉淀池相同出水水质条件下,冬季时不同废水回用比均有节药效果,其中在沉淀池排泥水浊度为2 300 ~ 2 800 NTU范围时,回用比为6% : 2%时的节药率达到最大值25%,此后随着沉淀池排泥水回用量的增加节药率有所下降。

### 2.3 混合水浊度对达标投药量和节药率的影响

不同废水回用组合有着相应的混合水质,在实际水厂运行调控中可将其作为调试优化的控制参数。混合水浊度对节药率及达标投药量的影响见图3。在夏季时,当混合水浊度 < 175 NTU时,随着混合水浊度的增加,达标投药量大体呈现下降趋势,相应的节药率逐渐增高,最高可达33.3%,此时达标投药量为4 mg/L,夏季的最佳混合水浊度范围为100 ~ 175 NTU。结果表明,在一定范围内增加废水回用比来提高混合水浊度,从而在絮凝阶段提高胶

体颗粒碰撞几率<sup>[10]</sup>,为絮体的形成提供了充足的凝聚核心<sup>[11]</sup>,然后通过物理吸附和架桥机理去除浊度,强化低浊水混凝,达到节水节药的效果。在相同回用比(6% : 4%)下,将沉淀池排泥水浊度分别提高到7 745、8 650 NTU再进行试验,发现过度增加混合水浊度不利于混凝剂的节约,达标投药量反而上升。因此,回用生产废水(沉淀池排泥水)的浓度不宜过高,超过一定颗粒浓度范围,会导致其水中胶体颗粒过多,在较小的投药量下,其吸附架桥及电性中和难以聚集、沉降过多的胶体颗粒,为使浊度达标,相应会增加投药量,不利于混凝效果的强化。

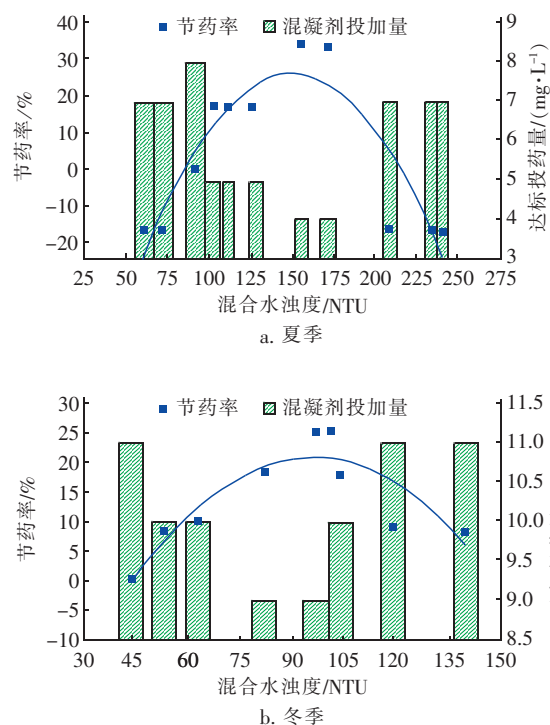


图3 混合水浊度对节药率及达标投药量的影响

Fig.3 Effect of blended water turbidity on saving efficiency and dosage of coagulant in summer and winter

在冬季投药量和节药率呈相反趋势。混合水浊度 < 95 NTU时,节药率随混合水浊度先升高,达标投药量呈下降趋势,当混合水浊度为80 ~ 105 NTU时,又可实现较高的节药率(18.2% ~ 25%),此时达标投药量为9 ~ 10 mg/L。当继续调节回用比增加混合水浊度时,节药率又有所下降。因此,冬季的混合水浊度范围较夏季低,温度对达标投药量有明显影响,同时,低温条件下沉淀池排泥水含固率较低,因此最佳混合水浊度范围为80 ~ 105 NTU。

废水联合回用时,节药率和达标投药量随混合

水浊度的变化规律基本与小试结果<sup>[1]</sup>相同,小试中混合水浊度的最佳范围为10~20 NTU,节药率可达25%~50%,而中试在夏、冬两季有着较大的最佳混合水浊度范围,但节药率相对有所降低。

## 2.4 连续回用工艺对沉后水浊度的影响

在上述最佳混合水浊度范围及最佳投药量条件下,连续进行14 d的废水回用试验,结果见图4。可知,在夏、冬两季时沉淀池出水浊度均小于2.5 NTU,满足该水厂内控指标。连续回用过程中,冬季出水水质平稳,而夏季出现较小波动,但不同温度下均未出现浊度的富集现象。

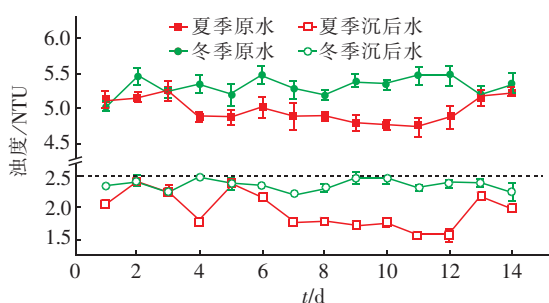


图4 连续运行效果

Fig.4 Continuous operation performance

## 3 结论

① 净水厂沉淀池排泥水、滤池反冲洗水同时直接回用可强化低温低浊水的混凝效果,增加原水颗粒间的碰撞几率,并通过吸附、架桥作用除浊,从而达到节水节药的目的。

② 不同季节存在不同最佳回用比,在夏季,沉淀池排泥水和反冲洗水最佳回流比为4%:6%,节药率为33.3%;冬季二者最佳回流比为2%:6%,节药率为25%。夏季排泥水浊度范围为5 500~6 500 NTU,冬季为2 300~2 800 NTU。

③ 混合水浊度作为水厂调试优化运行的控制参数,节药率随其增大先上升后下降。夏季的最佳混合水浊度范围为100~175 NTU,此时回用工艺最佳达标投药量为4~5 mg/L;而冬季最佳混合水浊度范围为80~105 NTU,达标投药量为9~10 mg/L。

④ 在最佳优化参数条件下连续运行14 d,沉后水浊度平稳且未出现明显的富集现象。

## 参考文献:

[1] 徐勇鹏,何利,崔福义,等. 回用净水厂生产废水强化低温低浊水的混凝效能[J]. 中国给水排水,2011,27

(7):55-58.

- [2] 何利. 净水厂生产废水回用强化处理低温低浊水[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009.
- [3] 孙丽华,李圭白,李星,等. 沉淀池污泥回流工艺强化低浊水处理效能研究[J]. 哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2012,28(2):187-193.
- [4] Gottfried A,Shepard A D,Hardiman K,et al. Impact of recycling filter backwash water on organic removal in coagulation-sedimentation processes[J]. Water Res, 2008,42(18):4683-4691.
- [5] Xu Y P,Chen T,Xu R G,et al. Impact of recycling alum sludge on coagulation of low-turbidity source waters[J]. Desalination and Water Treatment,2016,57(15):1-8.
- [6] 赵松. 低浊度净水厂运行现状分析与建议[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
- [7] 周志伟. 污泥回流强化混凝处理低温低浊水试验研究[D]. 北京:北京工业大学,2012.
- [8] Bai L,Wang C,Pei Y,et al. Reuse of drinking water treatment residuals in a continuous stirred tank reactor for phosphate removal from urban wastewater[J]. Environ Technol,2014,35(21):2752-2759.
- [9] 曲久辉. 饮用水安全保障技术原理[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [10] Qi L,Liang H,Wang Y,et al. Integration of immersed membrane ultrafiltration with the reuse of PAC and alum sludge (RPAS) process for drinking water treatment[J]. Desalination,2009,249(1):440-444.
- [11] 俞文正. 混凝絮体破碎再絮凝机理研究及对超滤膜污染的影响[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.



作者简介:朱世俊(1990-),男,山西太原人,博士研究生,研究方向为饮用水安全保障技术。

E-mail:zhushijun\_2010@126.com

收稿日期:2016-08-12