

回用净水厂生产废水强化低温低浊水的混凝效能

徐勇鹏¹, 何利², 崔福义¹, 王志军³

(1. 哈尔滨工业大学 城市水资源与水环境国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150090;
2. 中国市政工程西南设计研究总院, 四川 成都 610081; 3. 哈尔滨供排水集团有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 净水厂生产废水包括沉淀池排泥水及滤池反冲洗水, 含有未充分水解的混凝剂和大量的悬浮颗粒, 考察了直接回用这些生产废水对低温低浊水的强化混凝效果和作用机理。结果表明, 直接回用适量的生产废水可以改善混凝条件、节约投药量, 并且回用排泥水的效果要好于回用反冲洗水的。生产废水直接回用到处理工艺前段, 废水中的颗粒物可以提供更多的凝聚核心, 提高颗粒碰撞的几率, 而未充分水解的混凝剂可以再次被利用, 从而强化了低温低浊水的混凝效果。

关键词: 净水厂生产废水; 回用; 低温低浊原水; 强化混凝

中图分类号: TU991 文献标识码: C 文章编号: 1000-4602(2011)07-0055-04

Enhanced Coagulation Efficiency of Low-temperature and Low-turbidity Water by Reusing Production Wastewater from Waterworks

XU Yong-peng¹, HE Li², CUI Fu-yi¹, WANG Zhi-jun³

(1. State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Southwest Municipal Engineering Design and Research Institute of China, Chengdu 610081, China; 3. Harbin Water Supply and Drainage Group Co. Ltd., Harbin 150001, China)

Abstract: The production wastewater from waterworks includes sludge water from sedimentation tank and backwashing water from filter, and they contain residual coagulants and a lot of suspended particles. The enhanced coagulation efficiency of low-temperature and low-turbidity water by directly reusing these production wastewater and the action mechanism were investigated. The results show that the appropriate direct reuse of production wastewater can improve the coagulation and save coagulant dosage. The reuse efficiency of sludge water is better than that of backwashing water. The production wastewater is directly reused in the forepart of treatment process. The particles in production wastewater can supply many coagulation cores to increase collision probability between particles, and the residual coagulants can be used again, which enhances the coagulation efficiency of low-temperature and low-turbidity water.

Key words: production wastewater from waterworks; reuse; low-temperature and low-turbidity raw water; enhanced coagulation

净水厂生产废水包括沉淀池的排泥水及滤池反冲洗水,约占水厂供水量的3%~8%,目前对于这部分含有大量无机颗粒的废水或直接排放或经过处理后再回用。若直接排放,不但会污染环境,而且还浪费了宝贵的水资源;而经过处理后再回用,则会增加运行管理费用。

低温低浊水难以处理,常采用加大投药量、添加高分子助凝剂或向原水中投加粘土等方法^[1],以强化混凝效果,但这大大增加了运行费用,从技术及经济角度均存在一定的不合理性。而净水厂生产废水中含有大量的颗粒物和剩余的混凝剂,若是将其与原水混合,不仅可起到投加粘土改善混凝的作用^[2],同时也解决了生产废水的处理问题。另外,废水中未充分利用的混凝剂还可以再次被利用,在回用水资源的同时强化了低温低浊水的处理。笔者围绕生产废水直接回用的方法,研究了其强化低温低浊水混凝效能的基本规律和作用机理。

1 试验部分

1.1 试验原水

试验原水取自北方H市的A水厂。水厂总设计规模为 $90 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分两期建设。净水工艺采用常规处理流程,预留臭氧氧化及活性炭过滤深度处理设施用地,共有4个系列,每个系列独立运行,具体工艺流程见图1。该厂采用的混凝剂为液体聚合氯化铝(PAC),投药量在80 mg/L左右,随季节及原水水质而波动。

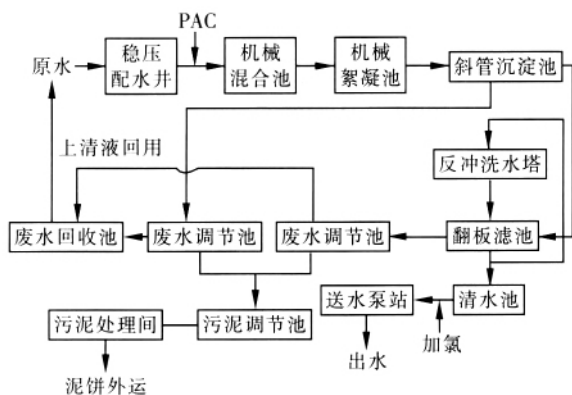


图1 净水厂工艺流程

Fig. 1 Flow chart of treatment process in waterworks A

A水厂的原水取自水库,水质优良,但腐殖质含量较多,色度较高。一年中除5月—8月的水温约为10~15℃,其余月份大多在4~8℃,尤其是进入漫长的冬季,水温多为6℃左右;而原水浊度除在5

月—8月偶尔会超过3 NTU外,其他时间均在3 NTU以下,尤其是在冬季,浊度一般在0.6 NTU左右;而原水的色度却较高,在夏季达到28~36倍,在冬季则多处于20~26倍之间,属于典型的低温、低浊、高色度原水,故给净水厂的处理带来很大困难。

1.2 试验方法

以原水作为空白试验,以回用5%的生产废水作为对照试验。其中生产废水有3种:斜管沉淀池的排泥水(记作1#废水)、排泥水和滤池反冲洗水的体积比为2.4:1的生产废水(记作2#废水)、滤池反冲洗水(记作3#废水)。利用混凝搅拌装置模拟水厂的混凝搅拌工艺进行试验,首先在300 r/min下快速搅拌1 min,而后在120 r/min下中速搅拌5 min,接着在60 r/min下搅拌5 min,最后在40 r/min下慢速搅拌5 min,然后沉降30 min,检测沉后水的水质指标,得到混凝沉降曲线和达标投药量。其中,达标投药量的定义:为了有效评价回用生产废水后的效果,确定沉后水浊度的标准限值为0.6 NTU,达到该浊度限值的混凝剂投量则称为达标投药量。

2 试验结果与分析

为了更有效地评价回用生产废水后对混凝效果的影响,以原水达标投药量为基准,考察混合水的达标投药量和节药率的变化规律。其中,节药率 = (原水达标投药量 - 混合水达标投药量) / 原水达标投药量 × 100%。

图2为回用1#生产废水的强化混凝效果。

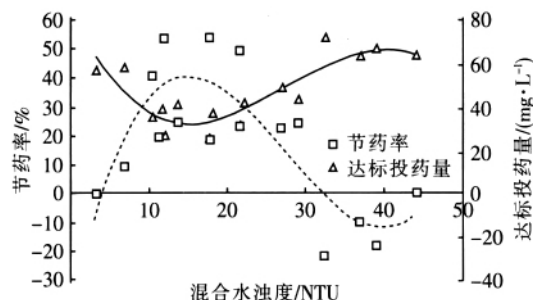


图2 回用1#生产废水的强化混凝效果

Fig. 2 Enhanced coagulation effect by recycling wastewater 1#

由图2可以看出,随着混合水浊度的升高,其节药率先增大后减小,最高节药率可以达到50%;当混合水的浊度为10~20 NTU时,其节药率在25%~50%之间波动,回用效果较好,且由趋势线来看,在此范围内存在一个最佳的混合水浊度使得其达到最大节药率。而当混合水浊度低于10 NTU或高于

20 NTU 时,其节药率较小,节药效果不明显;甚至当混合水浊度 >30 NTU 时,其节药率为负值。故回用 1[#] 生产废水时应控制其混合水浊度 ≤ 30 NTU,此值称为极限混合水浊度。

另外由图 2 还可知,回用 1[#] 生产废水时,其达标投药量随着混合水浊度的升高而先减小后增大,当混合水浊度为 10~20 NTU 时,其达标投药量处于最低范围,此时亦达到了最佳节药效果。

图 3 为回用 2[#] 生产废水的强化混凝效果。可以看出,回用 2[#] 废水与回用 1[#] 废水时强化混凝效果的变化规律基本相同,节药率随混合水浊度的升高而先增大后减小,混合水浊度的最佳范围为 10~20 NTU,此时节药率为 25%~50%;达标投药量随混合水浊度的升高而先减小后增大,当混合水浊度为 10~20 NTU 时,达标投药量处于最低范围;当混合水浊度 <30 NTU 时,回用 2[#] 废水具有节药效果,而当混合水浊度 >30 NTU 时,节约率为负值。

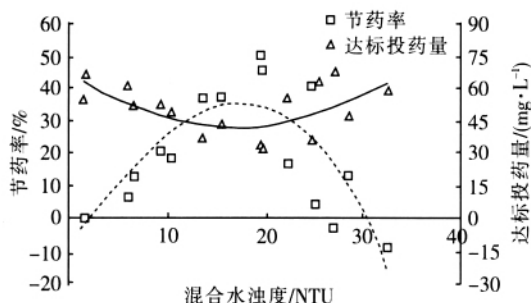


图 3 回用 2[#] 生产废水的强化混凝效果

Fig. 3 Enhanced coagulation effect by recycling wastewater 2[#]

图 4 为回用 3[#] 生产废水的强化混凝效果。可知,其节药率亦随混合水浊度的升高而先增大后减小;最佳混合水浊度范围为 5~10 NTU,此时节药效果较好,节药率达到 20%~30%,达标投药量也相应处于最低范围;当混合水浊度大于极限值(12 NTU)时,节约率变为负值。

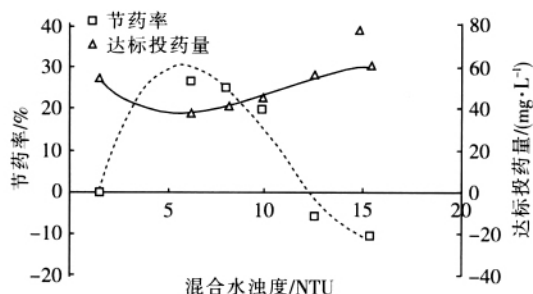


图 4 回用 3[#] 生产废水的强化混凝效果

Fig. 4 Enhanced coagulation effect by recycling wastewater 3[#]

综上所述,3 种生产废水的回用效果有所不同,回用废水 1[#] 和 2[#] 的效果类似,而回用废水 3[#] 的效果不如回用废水 1[#] 和 2[#] 的,这可能是因为废水 1[#] 和 2[#] 主要为排泥水,而废水 3[#] 为滤池反冲洗水。

3 作用机理

回用生产废水来强化混凝效果的机理主要在于其化学作用及物理作用,其中化学作用是指由于回用废水中含有大量的金属氢氧化物脱稳胶体颗粒,使废水中的胶体表面所带电荷改变,产生静电吸附及电性中和作用。而物理作用在于增加了原水中的胶体浓度,由混凝动力学可知,这可大大增加颗粒碰撞的几率,使胶体易于凝聚^[3]。

回用生产废水 1[#]、2[#] 和 3[#] 均具有强化低温低浊水混凝的效果,这是由于回用废水中均含有大量的悬浮颗粒,回用后增加了原水的胶体颗粒浓度,从而增加了颗粒碰撞沉降的几率,同时也增加了混凝凝聚核心。但回用排泥水的效果优于回用滤池反冲洗水的效果,其主要原因可能是排泥水中不仅含有高浓度的悬浮颗粒,同时还含有未水解完全的混凝剂,其中包含未充分发挥药性的金属氢氧化物,并且排泥水中的悬浮颗粒均为脱稳颗粒。

3.1 Zeta 电位化学作用

在给水处理中,Zeta 电位对于水中悬浮物和胶体颗粒的稳定性有着重要的作用和意义,为了深入了解回用生产废水的作用机理,对原水和 3 种生产废水进行 Zeta 电位的测定,测定时不调节 pH 值,pH 值为 6.85~6.95,温度为 14℃,其中生产废水的 pH 值较原水的略高。结果表明,原水的 Zeta 电位为 -11.4~-13.8 mV,符合一般天然水体的 Zeta 电位范围(-10~-40 mV)。3 种生产废水的 Zeta 电位均比原水的要高,其中 1[#] 和 2[#] 生产废水的 Zeta 电位相近,分别为(2.99~6.40)和(0.993~6.17) mV,均大于零点电位,胶体表面带正电荷;3[#] 生产废水的 Zeta 电位为 -1.92~-2.18 mV,其胶体颗粒呈电负性。可知,滤池反冲洗水的 Zeta 电位远小于沉淀池排泥水及两者的混合水,且为负值,其原因可能是 1[#] 和 2[#] 废水中含有大量的金属氢氧化物,其吸附聚集在原水中的胶体颗粒表面使其表面电荷大于零,而滤池反冲洗水中含有的金属氢氧化物较少,且多被滤料所吸附,悬浮物及胶体颗粒的 Zeta 电位受滤料的影响较大。

由 DLVO 理论可知,由于胶体颗粒带同种电荷,

具有排斥势能,为使胶体颗粒发生聚集必须越过其排斥势能峰,而排斥势能峰的大小与 Zeta 电位有关,同种性质胶体颗粒的 Zeta 电位越接近于零点电位,胶体颗粒的势能峰越小,其凝聚性能越好,当滑动面上的 Zeta 电位为零时,其脱稳效果达到最佳^[4]。当回用生产废水时,由于废水的 Zeta 电位均大于原水,均能提高原水的 Zeta 电位使其接近零点电位,故能够起到强化混凝、节约投药量的作用。回用 1[#]和 2[#]生产废水的强化混凝效果优于回用 3[#]生产废水的,这是因为 1[#]和 2[#]生产废水的 Zeta 电位为正,与原水混合后,使得两种带相反电荷的胶体颗粒相互混合,发生凝聚共沉现象,故其强化混凝效果好;而 3[#]生产废水的 Zeta 电位为负,与原水混合后,虽可提高原水的 Zeta 电位,但效果不如前两者。

3.2 混凝动力学作用

列维奇通过研究湍流扩散的平均方程计算颗粒的碰撞次数,得出湍流中颗粒碰撞次数随湍流能耗的增大而增加。其絮凝的动力方程式如下:

$$N_0 = \frac{8\pi}{\sqrt{15}} \sqrt{\frac{\varepsilon}{v}} d^3 n^2 \quad (1)$$

其中 N_0 指单位体积中的颗粒在同向絮凝中的碰撞速率, n 指颗粒数量浓度, d 指颗粒物的拟合直径。可知,颗粒碰撞速率与颗粒数量浓度的平方及颗粒物直径的三次方成正比,这表明颗粒物浓度与颗粒物直径对同向絮凝中颗粒碰撞速率的影响是显著的。在低温低浊条件下,由于原水的浊度低,颗粒物浓度小,其限制了在混凝中后期形成的颗粒物的直径大小,从而全面影响了混凝效果^[3],使得颗粒碰撞速率和几率都减少,导致了对低温低浊原水的处理较困难。

当采取回用生产废水的措施后,可以有效提高原水的浊度、增加颗粒物浓度,同时由于生产废水中含有大量的脱稳胶体颗粒,不仅增加了碰撞的几率,同时大大增加了碰撞的有效性,提供了更多的凝聚核心,更有利于颗粒的脱稳凝聚,使得形成的絮体密实、粒径较大,从而有效地节约了投药量、强化了混凝效果,减轻了沉淀池及滤池的负担。但从混凝效果来看,回用生产废水的浓度不宜过高,当超过一定颗粒浓度时,会导致水中胶体颗粒过多,从而会增加其达标投药量,不利于混凝效果的强化。

3.3 水厂的实际情况

由于该水厂采用的是高分子混凝剂聚合氯化

铝,其在水中会形成链状结构的高分子水解态,具有很强的吸附能力;同时水解时产生带正电的物质,有利于吸附水中呈负电性的胶体颗粒,从而充分发挥其电中和及吸附架桥作用。但由于该水厂原水长年低温,水的粘滞力较大,不利于混凝剂的水解,从而使得其水解形态不佳。当回用沉淀池的排泥水后,能够将未水解完全的混凝剂及大量具有吸附性能的絮体再次利用,同时可以增加絮凝核心,强化去除水中的有机物及胶体颗粒,从而达到节约药耗、强化低温低浊水处理效果的作用。

4 结论

① 沉淀池排泥水、滤池反冲水及二者的混合废水,均具有强化混凝、节约投药量的效果,三者的节药量均随混合水浊度的升高而先增大后减小,其中,回用排泥水或二者的混合废水时,最佳混合水浊度范围为 10 ~ 20 NTU,此时的节药率为 25% ~ 50%;而回用滤池反冲洗水时,最佳混合水浊度范围为 5 ~ 10 NTU,相应的节药率为 20% ~ 30%。

② 3 种生产废水的 Zeta 电位均远大于原水的,回用生产废水后,可强化低温低浊原水混凝时的电性中和及吸附架桥作用;同时由于生产废水中含有大量的脱稳颗粒,回用后可提高颗粒碰撞的几率和效率,增加凝聚核心,使得胶体颗粒易于脱稳凝聚,形成密实、粗大的絮体。

参考文献:

- [1] Arora H, Di Giovanni G, Lechevallier M. Spent filter backwash water: Contaminants and treatment strategies [J]. J AWWA 2001 93(5): 100 - 112.
- [2] Edzwald J K, Tobiasson J E. Fate and removal of *Cryptosporidium* in a dissolved air flotation water plant with and without recycle of waste filter backwash water [J]. Water Sci Technol: Water Supply 2002 2(2): 85 - 90.
- [3] 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.
- [4] 费霞丽, 崔福义, 吴灿东, 等. 九龙江流域水厂生产废水回用条件的初步研究 [J]. 给水排水 2005 31(5): 6 - 10.

E-mail: xuyongpeng123@163.com

收稿日期: 2010 - 12 - 14