

# 净水厂生产废水回用强化混凝处理低浊水及安全性

陈 停<sup>1</sup>, 崔福义<sup>2</sup>, 徐叶琴<sup>1</sup>, 徐勇鹏<sup>2</sup>

(1. 广东粤海水务股份有限公司, 广东 深圳 518000; 2. 哈尔滨工业大学 环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

**摘 要:** 以低浊水为原水,开展生产废水回用技术研究,发现净水厂生产废水回用能够同时实现节水和节药的目的。中试结果表明,生产废水回用存在最佳混合水浊度范围。当排泥水回用时,最佳混合水浊度范围为40~60 NTU,相应的节药率为16.5%~39.5%;当排泥水与反冲洗水同时回用时,最佳混合水浊度范围为125~175 NTU,相应的节药率为13%~30.5%。生产废水直接回用不会恶化出水水质,其出水指标符合国标要求;同时与常规工艺相比,生物遗传毒性无显著性差异,不会造成常规剂量下致遗传物质的累积。因此,生产废水回用可以作为净水厂处理低浊水的有效措施之一。

**关键词:** 废水回用; 强化混凝; 排泥水; 反冲洗水; 生物安全性

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2018)05-0021-05

## Drinking Water Treatment Plant Streams Recycle for Strengthening Coagulation Efficiency of Low Turbidity Water and Its Water Quality Safety Evaluation

CHEN Ting<sup>1</sup>, CUI Fu-yi<sup>2</sup>, XU Ye-qin<sup>1</sup>, XU Yong-peng<sup>2</sup>

(1. Guangdong GDH Water Co. Ltd., Shenzhen 518000, China; 2. School of Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

**Abstract:** This research was to study the feasibility of recycling sludge and filter backwash wastewater to enhance the traditional coagulation efficiency for treating low turbidity water. The results showed that recycling the sludge or the combination of sludge and filter backwash wastewater not only enhanced the coagulation efficiency but also saved the dosage of coagulants, in which the best turbidity range was 40 to 60 NTU and 125 to 175 NTU respectively, and the corresponding coagulant saving rate was 16.5% - 39.5% and 13% - 30.5%, respectively. The process of recycling the sludge and filter backwash wastewater would not deteriorate the water quality, and the effluent met the quality standard. Meanwhile, there was no difference for genetic toxicity compared with conventional water treatment, and the genetic toxicity couldn't accumulate with normal concentration. The reuse of production wastewater can be used as an effective measure to treat low turbidity water in water treatment plants.

**Key words:** recycling streams; enhanced coagulation; sludge; filter backwash wastewater; biosafety

净水厂生产废水量约占水厂供水量的5%~8%,主要包括絮凝池、沉淀池的排泥水以及滤池的



满足出水水质要求。当混合水中的浊度物质超过某一限度后,其增加的工艺负荷超过提高颗粒碰撞几率所带来的收益,导致最终药耗增加。虽然采用混合水的含固率或浊度都可以表征回用工艺控制的关键条件,但是浊度在生产上更加直观可测,作为控制参数更加合理。因此,混合水浊度是实现水厂节水节药的关键性控制参数。

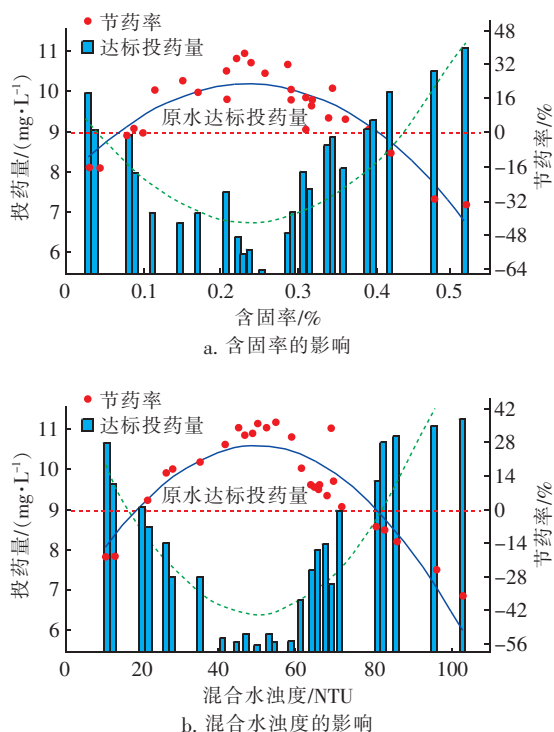


图2 回用排泥水时节约率随排泥水含固率和混合水浊度的变化

Fig. 2 Coagulant saving rate under different solid content and turbidity of mixture water

由于反冲洗水可占水厂生产废水量的 50% 以上,回用反冲洗水对于净水厂节水有着重要的意义。通过控制反冲洗水和排泥水比例调节混合水浊度,研究同时回用排泥水和反冲洗水时混合水浊度与节约率之间的关系,结果如图 3 所示。

与单独回用排泥水类似,同时回用排泥水和反冲洗水同样存在着最佳混合水浊度范围(125 ~ 175 NTU),在此范围内相应的最佳节约量为 13% ~ 30.5%;与排泥水相比较,反冲洗水中杂质主要为滤料表面截留的颗粒物,其中含有脱稳悬浮颗粒和残留混凝剂较少,对混凝效果的强化作用也较弱,需要适当提高反洗水和排泥水的回用比例才能达到满意的效果。

由此可见,无论单独回用排泥水或同时回用排泥水和反冲洗水,均存在适宜的原水混合浊度范围,在此范围内能够节约可观的混凝剂量。净水厂生产废水回用技术在节水的同时兼具节药效果,可以显著降低水厂的药剂消耗量,从而有效降低水厂的运行成本。本研究中,在保证出水浊度不升高的前提下可将全部生产废水回用(约占处理水量的 10%),并节约近 40% 的投药量,产生了可观的经济效益。

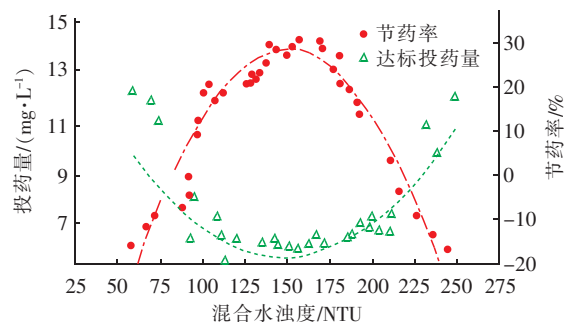


图3 回用排泥水和反冲洗水时混合水浊度对节约率的影响

Fig. 3 Effect of mixture water turbidity on coagulant saving rate

## 2.2 生产废水回用的水质安全风险评价

净水厂生产废水回用必须在不降低水质安全性的前提下进行,并且最终出水水质必须符合国家《生活饮用水卫生标准》的要求。为了研究生产废水连续回用对滤后水质的影响,在最佳混合水浊度条件下连续运行 15 d,并以常规处理工艺作为对比。

### 2.2.1 连续回用对滤后水浊度和色度的影响

在 15 d 的连续运行期间,两工艺滤后水的浊度和色度均较稳定。其中,回用工艺和常规工艺滤后水浊度的范围分别为 0.14 ~ 0.28 和 0.15 ~ 0.35 NTU,色度范围分别为 1 ~ 3.2 和 1 ~ 4 度。由数据分析可得,回用工艺滤后水的浊度有 60% 的检测结果低于常规工艺滤后水,而色度有 80% 的检测结果低于常规工艺滤后水,但两工艺的浊度和色度值均远低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的限值。前述研究已表明生产废水回用可以强化除浊脱色的混凝效能,而在连续试验中出现了滤后水浊度稍高于常规工艺的情况,其原因可能是生产废水回用有利于较大颗粒在混凝阶段的去除,但强大的水流剪切力使附着在沉泥表面的微小絮体及颗粒物脱落下来,由于普通快滤池对于小尺寸颗粒的拦截能力有限,造成了回用工艺的滤后水浊度有时稍高于常规工艺。

### 2.2.2 连续回用对滤后水中 Fe、Al 和 Mn 的影响

对于金属 Al 而言,两工艺连续运行期间,滤后水中的 Al 含量变化趋势较为一致,常规工艺滤后水中 Al 的含量明显高于回用工艺,其平均值分别为 0.152 和 0.131 mg/L。回用工艺滤后水中的 Fe 含量有 83% 的检测结果低于常规工艺滤后水(两者均在 0.04 mg/L 以下),而两工艺滤后水中 Mn 的含量基本相同且较低,均保持在 0.004 mg/L 以下。以上结果表明,生产废水回用不会造成滤后水中高检出金属指标 Al、Fe 和 Mn 含量超标,其含量远低于 GB 5749—2006 限值。

### 2.2.3 连续回用对滤后水中有机物的影响

在两工艺连续运行期间,常规工艺和回用工艺滤后水中 TOC 均值分别为 4.54、4.68 mg/L, DOC 均值分别为 4.32、4.10 mg/L,  $UV_{254}$  均值分别为 0.067 和 0.062  $cm^{-1}$ ,其变化趋势较为一致,含量也基本相同,没有出现太大的波动(见图4)。其中,回用工艺滤后水的 DOC 检测结果稍低于常规工艺,优化去除了 0.22 mg/L,优化去除率为 3.00%;回用工艺滤后水中  $UV_{254}$  约 66.67% 的检测结果低于常规工艺;THMFPs 的平均值低于常规工艺约 6.8  $\mu g/L$ 。由此可知,生产废水直接回用不会造成滤后水中有机物含量的升高,和常规工艺相比,更利于溶解性有机物及三卤甲烷前驱物的去除。

总体而言,尽管净水厂将生产废水回用会有一些参数升高的风险,但是出水的各项指标与无回用时基本处于同一水平。混凝沉淀主要用于去除水中的胶体和悬浮颗粒,上述杂质是随着絮体共同沉淀形成污泥,又随着排泥水的回用而引入原水中,导致相应的指标(主要是浊度、由颗粒物构成的有机物等指标)升高,但是这类物质极易被混凝沉淀所去除,故尽管生产废水中这些指标远高于原水,但是对处理效果不会造成明显的影响,反而可能因回用水中大量絮体的网捕卷扫作用而强化对相应污染物的去除<sup>[3,4]</sup>,一定程度上改善出水水质。

对于亲水性有机物等混凝沉淀难以去除的污染物,由于工艺的去除能力有限,不会在废水中大量富集,也就不会随着回用过程重新进入到原水,影响后续处理。然而对于氨氮、NOM 等污染物,混凝沉淀对其具有一定的去除能力,但是形成的絮体并不稳定,会随着再次絮凝过程中絮体破碎而释放到水中,由于常规工艺对其去除能力有限,有可能导致出水

中相应的指标出现升高的问题,需要在研究与应用中加以关注。

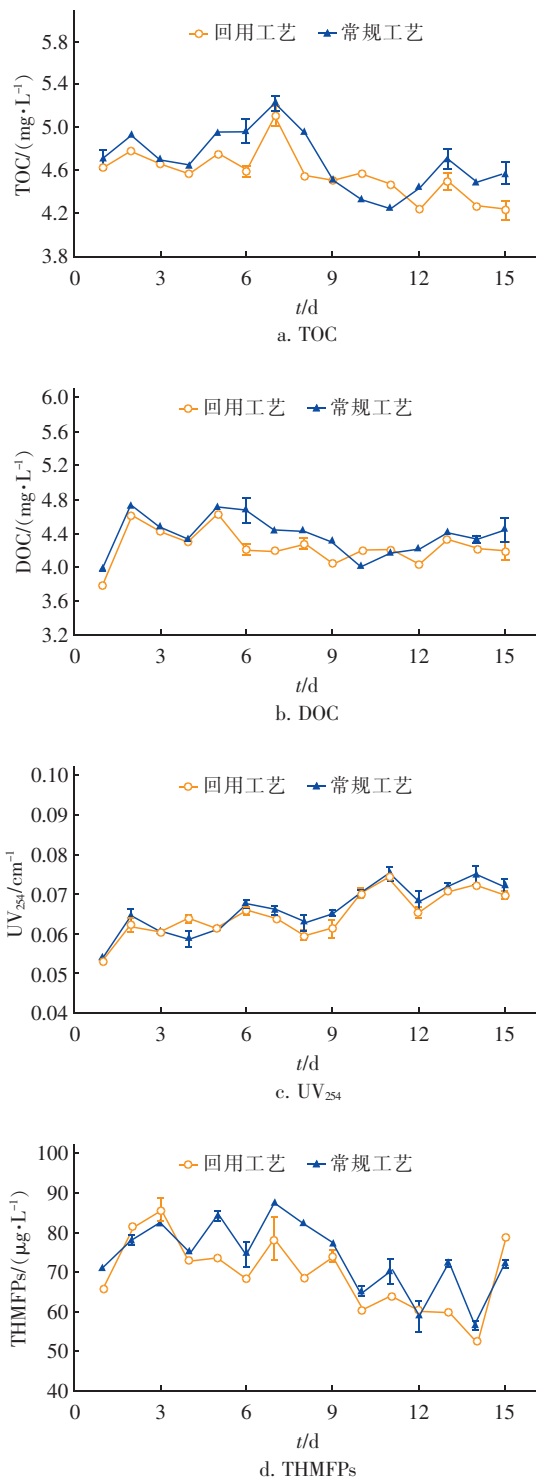


图4 生产废水连续回用对滤后水中 TOC、DOC、 $UV_{254}$  和 THMFPs 的影响

Fig. 4 Effect of continuous recycling sludge and filter backwash wastewater on TOC, DOC,  $UV_{254}$  and THMFPs



2.3 生产废水回用对出水生物安全性的影响

由于净水厂排泥水和反冲洗水中污染物成分复杂,并且存在有毒物质随着循环过程不断积累的可能性<sup>[5,6]</sup>,采用毒理学手段评估净水厂出水的生物安全性对于净水厂生产废水回用技术有着更加重要的价值,然而学术界对此方向刚刚开始研究,国内外鲜见相关报道。相关测试结果见表 1。

表 1 不同遗传学终点试验结果汇总

Tab.1 Results of a series test battery on different genetic endpoints

项 目		工 艺	滤后水 结果	消毒水 结果	阳性剂量
基因突变	Ames 试验	常规工艺	-	-	
		回用工艺	-	-	
染色体 畸变	CHO - K1 微核试验	常规工艺	-	-	
		回用工艺	-	-	
	PCE 微核试验	常规工艺	-	+	4、40 L/kgBw
		回用工艺	-	-	
	小鼠精子 畸形试验	常规工艺	-	+	40 L/kgBw
		回用工艺	-	-	
DNA 损伤	SOS/ umu	常规工艺	+	+	0.167 L/孔
		回用工艺	-	+	0.167 L/孔

注: + 代表结果为阳性;- 代表结果为阴性。

由表 1 可知,Ames 和 CHO - K1 试验在两种工艺所设计的剂量组中均呈阴性;小鼠骨髓噬多染红细胞(PCE)和小鼠精子畸形试验在消毒水高剂量 40 L/kgBw 时呈阳性;SOS/umu 试验在水样富集浓度为 0.167 L/孔时,常规处理工艺滤后水和消毒水呈阳性,而回用工艺仅有消毒水呈阳性。以上结果表明,不同的遗传毒性试验所反映的毒性结果不同,这可能与受试动物的敏感性和特异性相关;虽然小鼠精子畸形试验和 PCE 试验在 40 L/kgBw 时呈阳性,但是此浓度相当于正常饮水的 1 000 倍,不太符合动物正常进食行为;SOS/umu 试验也在高浓度剂量组出现同样的现象,因此可以认为生产废水回用工艺出水不会造成上述遗传毒性的累积。

3 结论

① 生产废水回用存在最佳混合水浊度范围。当排泥水回用时,最佳混合水浊度范围为 40 ~ 60 NTU,相应的节约率为 16.5% ~ 39.5%;当排泥水与反冲洗水同时回用时,最佳混合水浊度范围为 125 ~ 175 NTU,相应的节约率为 13% ~ 30.5%。

② 生产废水连续回用不会对滤后水水质产生影响,并可强化对溶解性有机物的去除。

③ 在正常剂量范围内,回用生产废水不会造成滤后和消毒水中致基因突变、致染色体畸变和致 DNA 损伤等遗传毒性物质的累积;但在高浓度下,小鼠精子畸形、PCE 和 SOS/umu 等试验均呈阳性。

参考文献:

[1] Cornwell D A, Lee R G. Waste stream recycling: its effect on water quality[J]. J AWWA, 1994, 86(11): 50 - 63.

[2] Chen T, Xu Y, Liu Z, et al. Evaluation of drinking water treatment combined filter backwash water recycling technology based on comet and micronucleus assay[J]. J Environ Sci, 2016, 42: 61 - 70.

[3] Zhou Z, Yang Y, Li X. Effects of ultrasound pretreatment on the characteristic evolutions of drinking water treatment sludge and its impact on coagulation property of sludge recycling process[J]. Ultrason Sonochem, 2015, 27: 62 - 71.

[4] Liu Z, Xu Y, Yang X, et al. Does the recycling of waste streams from drinking water treatment plants worsen the quality of finished water? A case assessment in China[J]. Water Sci Technol, 2017, 17(2): 597 - 605.

[5] Xu Y, Chen T, Liu Z, et al. The impact of recycling aluminic-floc (AHF) on the removal of natural organic materials (NOM): Behavior of coagulation and adsorption[J]. Chem Eng J, 2016, 284: 1049 - 1057.

[6] Chen T, Xu Y, Zhu S, et al. Combining physico-chemical analysis with a *Daphnia magna* bioassay to evaluate a recycling technology for drinking water treatment plant waste residuals[J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2015, 122: 368 - 376.



作者简介:陈停(1986 - ), 男, 河南信阳人, 博士研究生, 工程师, 从事给水处理理论与技术研究。

E - mail: chentinghit@163. com

收稿日期: 2017 - 12 - 03