

长江水源水厂低温低浊期排泥水直接回用试验研究

周 华^{1,2}, 陈 卫², 孙 敏², 付永华²

(1. 华东勘测设计研究院, 浙江 杭州 310014; 2. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098)

摘 要 通过小试研究了长江水源水厂低温、低浊期排泥水直接回用对混凝效果和沉后水水质的影响。结果表明,排泥水回用可明显降低混凝后絮体表面的 ζ 电位的绝对值、改善混凝效果。澄清池排泥水和滤池反冲洗水回用比分别为2%~4%和6%~10%时,可分别节约混凝剂16%~28%和5%~10%。澄清池排泥水回用比不宜超过3%,此时沉后水DOC含量和细菌总数分别上升不超过7%和15%、总铝含量下降30%以上。滤池反冲洗水回用比不宜超过6%,此时沉后水DOC和总铝含量下降0~4%和0~40%、细菌总数上升不超过15%。

关键词 长江水源 低温低浊 排泥水 回用 安全性

中图分类号 X703.1

文献标识码 A

文章编号 1000-3770(2010)09-0093-04

长江水源冬春季节(每年12月至次年2月)处于低温低浊期,水温一般低于10℃,浊度一般低于50 NTU。原水低温低浊,导致水厂混凝剂水解缓慢,反应后形成的矾花细小、松散且不易沉降。水厂往往通过增加混凝剂投加量来强化混凝效果,以使出水水质满足要求。以南京某长江水源水厂为例,低温低浊期平均混凝剂用量是其他时期的1.2~1.3倍,致使生产成本大幅提高。

水厂混凝沉淀池排泥水和滤池反冲洗水统称为水厂排泥水。有研究认为,将这部分高浊度排泥水直接回流至原水中,可节约水资源,而且能在一定程度上提高混凝效果、减少混凝剂用量^[1-3]。但排泥水中含有大量从原水中截留的悬浮杂质及制水过程投加的混凝剂,直接回流可能影响出水水质,因此需根据排泥水水质确定合理的回流比,保证出水水质^[4]。

笔者以上述水厂为例,研究了低温低浊期排泥

水回用在改善混凝效果的前提下对出水生化安全性的影响,并提出了排泥水的安全回流比。

1 材料与方法

1.1 原水水质与工艺条件

试验在2月份进行。为满足沉后水浊度控制在3 NTU的要求,混凝剂投加量为10~14 mg·L⁻¹。水厂设计规模100×10³ m³·d⁻¹,采用脉冲澄清池+V型滤池的常规工艺。试验期间长江原水与排泥水等水质见表1。

1.2 试验方法

为比较混凝沉淀排泥水和过滤反冲洗水的回用效果,将澄清池排泥水和滤池反冲洗水各自按一定比例与原水混合后在烧杯中进行混凝搅拌试验。由于絮凝沉淀池排泥耗水率一般为1%~4%,滤池反冲洗耗水率一般为3%~7%,并考虑适当扩大回用

表1 试验期间长江原水与排泥水水质
Tab.1 Water Quality of Yangtze River and Sludge during the trial

水项	温度/℃	浊度/NTU	pH	细菌总数/ CFU·mL ⁻¹	ρ/mg·L ⁻¹	
					DOC	TP
长江原水	7.5~10.2	22~53	7.80~8.05	180~210	3.18	1.24~1.86
澄清池出水	7.8~10.8	2.0~5.0	7.76~8.00	140~165	2.88	0.42~0.95
澄清池排泥水	8.3~11.5	1 200~1 500	7.65~7.85	950~1 250	3.19	2.85~4.54
滤池出水	7.9~11.0	0.2~0.6	7.78~8.01	40~150	2.70	0.04~0.08
滤池反冲洗水	8.2~11.1	200~240	7.60~7.80	420~640	2.96	3.04~9.18

收稿日期 2009-11-30

基金项目 国家科技支撑项目(2006BAB17B02)

作者简介 周 华(1984—),男,硕士研究生,研究方向为水处理技术应用研究 联系电话:13735825721 E-mail: zhhdxzh@hhu.edu.cn

联系作者 陈 卫,教授,博士生导师 E-mail: cw5826@hhu.edu.cn

比的研究范围,故设计澄清池排泥水体积回用比为1%~5%,滤池反冲洗水体积回用比为2%~10%。

澄清池每次排泥1 min,排泥时在排水阀处每隔10 s取1 L水样,将所得6 L水样混合后得到排泥水水样;滤池每次反冲洗12 min,反冲洗时在排水阀处每隔30 s取1 L水样,将所得24 L水样混合后得到反冲洗水水样。

试验采用ZR4-6型六联搅拌机模拟水厂实际混凝、沉淀过程,水样置于混凝试验专用烧杯中,以 $500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 快速搅拌30 s,使水样混合均匀后快速加入混凝剂(液态聚合氯化铝),再按表2所示工况进行混凝沉淀。搅拌结束后取10 mL水样测 ζ 电位,静沉结束后取上清液分析浊度、溶解性有机物(DOC)、细菌总数和总铝含量等项目。

表2 烧杯试验工况
Tab.2 Jar test conditions

转速/ $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	500	250	100	50	静沉
时间/min	1	2	5	10	10

1.3 分析方法

ζ 电位采用JS94H型微电泳仪测定,浊度采用HACH 2100N型台式浊度仪测定,将水样过 $0.45 \mu\text{m}$ 微孔滤膜后采用Multi N/C 2100型TOC仪测定DOC,细菌总数采用平板计数法测定,总铝采用原子吸收法测定^[5]。

2 结果与讨论

2.1 回用对 ζ 电位和混凝剂投加量的影响

根据DLVO理论,胶体的聚集稳定性主要取决于胶体表面的电位,即胶体滑动面上的 ζ 电位,只有当滑动面上的电位减少到一定程度或完全消失时,在水流的扰动下胶体才会凝聚下沉^[6]。图1为水厂在现行混凝剂投加量($10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)下,澄清池排泥水和滤池反冲洗水直接回用对 ζ 电位的影响情况(澄清池和滤池原水的 ζ 电位分别为 -17.69 和 -14.51 mV)。

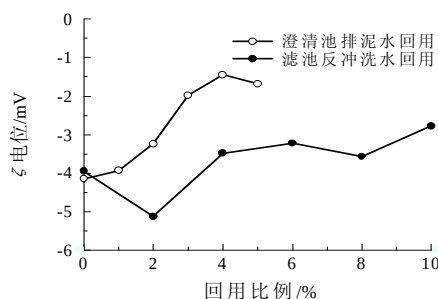


图1 排泥水回用混凝后对 ζ 电位的影响

Fig.1 Effect of reusing of coagulation sludge on the ζ potential

与不回用相比(即回用比为0),澄清池排泥水回用能显著降低混凝后胶体的 ζ 电位的绝对值,当回用比为3%~5%时胶体 ζ 电位的绝对值可从不回用时的 4.15 mV 降至 2 mV 以下,降幅在50%以上;滤池反冲洗水回用能小幅降低混凝后胶体的 ζ 电位的绝对值,当体积回用比为10%时胶体 ζ 电位的绝对值下降最多,为25%左右。这是因为排泥水中残留了由混凝剂水解产生的正电物质,它们携带的正电荷在回用过程中被再次利用,与原水中胶体颗粒表面的负电荷发生电性中和,从而降低了混凝后絮体表面的 ζ 电位的绝对值;又因残余正电物质多在混凝沉淀过程中被絮体吸附或包裹后存在于混凝沉淀排泥水中,而被滤池截留后进入过滤反冲洗水的较少,所以澄清池排泥水的回用能更显著的降低混凝后絮体表面的 ζ 电位的绝对值。

表面 ζ 电位绝对值的降低有利于胶体的凝聚下沉,减少所需的混凝剂投加量。因此进一步开展了以沉后水浊度3 NTU为控制目标的最佳混凝剂投加量试验,结果见图2。

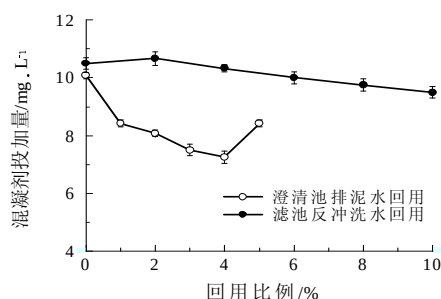


图2 排泥水回用对混凝剂投加量的影响

Fig.2 Effect of reusing of coagulation sludge on the coagulant dosage

从图2可见,排泥水回用能不同程度减少混凝剂用量,澄清池排泥水回用比为2%~4%时,节药效果最佳,为16%~28%;滤池反冲洗水体积回用比为6%~10%时,节药效果最佳,为5%~10%。

混凝剂用量减少的原因:一是排泥水回用能降低原水中胶体的 ζ 电位的绝对值;二是当原水浊度较低时,混凝过程缺乏凝聚核心,而水中的大量微絮凝颗粒正好为凝聚提供了核心。柯水洲研究证实,原水加入排泥水后,混凝剂水解形成的氢氧化物很容易被排泥水中的粗颗粒吸附,并形成大而密实的矾花,从而强化混凝、减少混凝剂用量^[2]。相比而言,澄清池排泥水能提供的絮凝颗粒和残余正电荷均远多于滤池反冲洗水,因此能节约更多的混凝剂用量。

2.2 回用对DOC的影响

有研究表明,DOC是水厂氯化消毒后产生具有

致癌作用的三卤甲烷消毒副产物的主要前驱物^[7]。同时,进入管网后,部分 DOC 能被微生物新陈代谢所利用,可能导致水的色度和浊度的增加以及异氧菌的再繁殖,从而引发饮用水的生物稳定性问题^[8]。在最佳混凝剂投加量下,排泥水回用对沉后水 DOC 含量的影响见图 3。

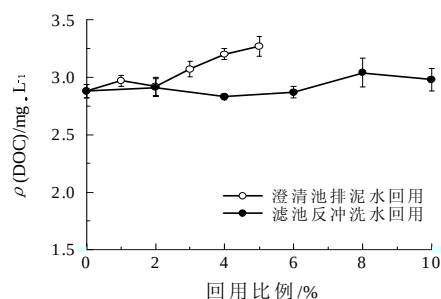


图 3 排泥水回用对 DOC 的影响

Fig.3 Effect of reusing of coagulation sludge on the DOC

图 3 显示,澄清池排泥水的回用比例不超过 3%时,沉后水 DOC 含量的升幅小于 7%;当回用比例超过 3%以后,沉后水 DOC 含量的增幅较大,在 10%以上,滤池反冲洗水回用比例小于 6%时,沉后水 DOC 含量下降 0~4%,当回用比例超过 6%以后,沉后水 DOC 含量上升不超过 6%。

一方面,水源中的有机物以溶解态为主,例如长江南京段原水中 DOC 占 TOC 的 82.52%,而常规工艺对 DOC 的去除效率很低,仅为 25%左右,因此排泥水中有机物的含量有限,而且这部分被截留的有机物主要以被吸附或结合的状态存在于絮凝颗粒中,在回流至原水后经再次混凝又进一步被包裹于絮体内,不至于释放到水中^[9-10];另一方面,排泥水对混凝过程的强化作用能提高对原水中有机物的去除效果。所以,当排泥水回用比例较小时,不仅不会导致沉后水 DOC 含量的大幅升高,甚至能降低沉后水的 DOC 含量,这与 Gottfried 的研究结果相符^[11]。但随着回用比例的增大,排泥水中部分被大分子有机物或其他无机胶体吸附的小分子有机物在混凝沉淀过程中由于大分子有机物或胶体与金属离子的络合作用而被释放出来,最终导致沉后水 DOC 含量的大幅上升^[12]。

2.3 回用对细菌总数的影响

排泥水含有大量从原水中截留的微生物,其直接回用的生物安全性可用细菌总数来衡量。最佳混凝剂投加量下,排泥水回用对沉后水细菌总数的影响见图 4。

从图 4 可见,排泥水的回用会导致沉后水细菌

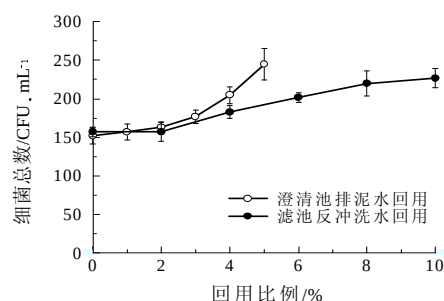


图 4 排泥水回用对细菌总数的影响

Fig.4 Effect of reusing of coagulation sludge on the total number of bacteria

总数的上升,上升幅度随着回用比的增加而增大。澄清池排泥水回用比不超过 3%时,沉后水细菌总数增幅小于 15%;当回用比超过 3%后,沉后水细菌总数增幅超过 30%;滤池反冲洗水回用比小于 6%时,沉后水细菌总数增幅小于 15%,当回用比超过 6%后,沉后水细菌总数增幅超过 30%。

由于混凝、沉淀、过滤过程主要去除附着在悬浮颗粒物上的细菌,这些被絮体所吸附包裹的细菌在回用过程中被再次包裹,不至于离散到水中,因而排泥水回用比较小时,不会导致沉后水中细菌总数的大幅增加。但当回用比扩大时,附着在颗粒物上的细菌被释放到水中的机率大大增加,从而导致沉后水细菌总数的大幅上升。陶辉研究发现,回用后增加的这部分细菌经消毒可被有效去除,不会对出水水质产生影响^[10]。但排泥水长期回用是否会产生微生物累积效应还有待进一步研究。

2.4 回用对总铝的影响

铝具有较强的慢性毒性,铝盐混凝剂的广泛使用,出水中铝超标的风险也大大增加,我国水质标准规定出厂水的铝的质量浓度必须小于 $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。水厂制水过程中,混凝剂中的铝大部分被转移到了排泥水中,因此澄清池排泥水和滤池反冲洗水中的铝含量较高(表 1)。最佳混凝剂投加量下,排泥水回用对沉后水总铝的影响见图 5。

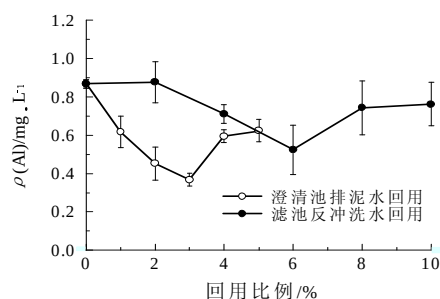


图 5 排泥水回用对总铝的影响

Fig.5 Effect of reusing of coagulation sludge on the total aluminum

与不回用相比,澄清池排泥水和滤池反冲洗水回用能使沉后水总铝含量分别下降 28%~58%和 0~40%。原因在于,排泥水中的铝主要以结合态的形式被絮体颗粒吸附或包裹着,而溶解在水中的游离态铝较少,其回用至原水后,经混凝沉淀被有效去除,因而不会造成沉后水中铝含量的上升;另一方面,排泥水回用能强化混凝效果、减少混凝剂投加量,从而进一步降低了沉后水的铝含量。相比而言,由于澄清池排泥水的回用后能更显著的减少混凝剂用量,因此其回用后的出水铝含量明显低于滤池反冲洗水的。

3 结 论

直接回用澄清池排泥水可明显降低混凝后絮体表面的 ζ 电位的绝对值、改善混凝效果,在回用比为 2%~4%时,可节约混凝剂 16%~28%。澄清池排泥水体积回用比不宜超过 3%,此时沉后水的 DOC 含量和细菌总数升幅较小,分别小于 7%和 15%,总铝含量下降 30%以上。

直接回用滤池反冲洗水对混凝效果的改善不显著,在体积回用比例为 6%~10%时,可节约混凝剂 5%~10%。滤池反冲洗水体积回用比不宜超过 6%,此时沉后水的 DOC 和总铝含量分别下降 0%~4%和 0%~40%,细菌总数上升不超过 15%。

对于长江水源水厂,在低温低浊期直接回用排泥水,不仅可提高混凝效果,减少混凝剂用量,还能实现水厂排泥水的资源化,解决排泥水排放对周围水体或市政排水系统的不良影响,环境经济效益可观^[13]。

参考文献:

- [1] 刘继平.污泥回流法处理低温低浊水的试验研究[J].给水排水.1995,11(1):12-15.
- [2] 柯水州,袁辉洲,袁切等.滤池反冲洗废水回用和混凝性能的改善[J].中国给水排水.2000,16(6):9-12.
- [3] 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时初步研究[J].给水排水.2005,31(5):6-10.
- [4] 费霞丽,崔福义,吴灿东.净水厂生产废水回用对供水水质的影响[J].环境污染与防治.2006,28(1):8-10.
- [5] 国家环境保护局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社.1989.
- [6] 许保玖.给水处理理论[M].北京:中国建筑工业出版社.2000:146-148.
- [7] Imai A, Fukushima T, Matsushige K, et al. Fractionation and characterization of dissolved organic matter in a shallow eutrophic lake, its inflowing rivers, and other organic matter sources[J].Water Research, 2001,35(17):4019-4028.
- [8] 乔春光,魏群山,王东升等.典型南方水源溶解性有机物分子量分布变化及去除特性[J].环境科学学报.2007,27(2):195-200.
- [9] 陈卫,李敏,林涛.饮用水处理中有机物分子量分布规律[J].解放军理工大学学报:自然科学版.2009,10(2):160-164.
- [10] 陶辉,王玲,徐勇鹏等.滤池反冲洗废水的直接回流利用研究[J].中国给水排水.2008,9(24):1-4.
- [11] Gottfried A, Shepard A D, Hardiman K, et al. Impact of recycling filter backwash water on organic removal in coagulation-sedimentation processes[J].Water Research.2008,42(18):4683-4691.
- [12] 王占生,刘文君.微污染水源饮用水处理[M].北京:中国建筑工业出版社.1999.
- [13] 周华,陈卫,孙敏,等.南京城市给水厂排泥水节水潜力分析[J].给水排水.2009,35(11):14-17.

STUDY ON DIRECT REUSING OF WATERWORKS SLUDGE WATER TAKEN RAW WATER FROM YANGTZE RIVER IN LOW TEMPERATURE AND LOW TURBIDITY PERIOD

Zhou Hua^{1,2}, Chen Wei², Sun Min², Fu Yonghua²

(1.Hydrochina Huadong Engineering Corporation, Hangzhou 310014, China;

2.College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The effect of direct reuse of waterworks sludge water taken raw water from Yangtze River in low temperature and low turbidity period on settled water quality was studied by jar test. The results show that the reuse of sludge water can obviously enhance the coagulation process. The reuse of clarifier sludge water can reduce 16%~28% of coagulant dosage if the reflux ratio between 2%~4%, and the reuse of filter backwash water can reduce 5%~10% of coagulant dosage if the reflux ratio between 6%~10%. When the reflux ratio below 3%, the reuse of clarifier sludge water will enhance the DOC and the total bacteria less than 7% and 15%, and reduce the total aluminum concentration more than 30% in settled water. When the reflux ratio below 6%, the reuse of filter backwash water will reduce the DOC and the total aluminum concentration between 0~4% and 0~40%, and enhance the total bacteria less than 15% in settled water.

Keywords: raw water from Yangtze River; low temperature and low turbidity; sludge water; reuse; security

保护环境,从我做起