

净水厂生产废水回用中丙烯酰胺的风险控制

李文英^{1,2}, 黄廷林¹, 李 辰³, 黄 卓¹

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055;

2. 西安理工大学水利水电学院, 陕西 西安 710048; 3. 天津市华博水务有限公司, 天津 300011)

摘 要:以西安市某地表水厂为例, 针对生产废水回用后出厂水中丙烯酰胺含量超标问题, 进行了相关的风险控制研究. 研究表明: 对不同浓度的污泥, 投加阴离子型和阳离子型 PAM 均能有效降低污泥比阻值, 改善污泥的脱水性能, 但使用阴离子型 PAM, 出厂水丙烯酰胺含量更低. 综合考虑污泥脱水效果及脱水分离液中丙烯酰胺的残留量, 采用阴离子型 PAM, 投药量在 0.09~0.16 g/L 之间时, 可有效控制出厂水中丙烯酰胺含量超标的风险.

关键词:丙烯酰胺; 风险控制; 污泥比阻; 污泥脱水

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2012)02-0259-04

给水厂的生产废水中含有大量来自原水的污染物和净水过程中投加的药剂, 由于污染物经处理后被显著浓缩, 大多数指标的数值是原来的几十倍甚至上百倍, 生产废水回用存在风险. 因此, 对生产废水回用进行安全性分析与控制意义重大^[1-3]. 回用水中丙烯酰胺的控制是生产废水回用风险研究的焦点之一. 在浓缩污泥脱水之前投加聚丙烯酰胺(PAM), 可提高污泥的脱水性能, 但污泥脱水分离液中含有大量对人体有害的丙烯酰胺, 增加了水厂出水的毒性风险. 因此, 必须对生产废水回用后丙烯酰胺产生的风险进行控制, 但目前关于此方面的研究还相对较少^[4,5].

本文以西北地区某地表水厂为例, 针对该厂生产废水回用后出厂水中丙烯酰胺偶有超标的现象, 进行了污泥脱水优化控制研究.

1 实验材料和方法

该厂滤池反冲洗水直接进入回用水调节池, 沉淀池和沉砂池的排泥水经调节池调节水量后进入浓缩池, 浓缩后的污泥进入脱水车间进行脱水, 脱水产生的分离液和浓缩池上清液一并进入回用水调节池, 连同滤池反冲洗水由回用水泵提升至沉砂池末端与进厂原水一起进入净水处理系统.

实验选用分子量分别为 1 200 万和 1 800 万的阴、阳离子型 PAM(厂商: 中德合资北京天使专用化学技术有限公司), 比较对污泥脱水性能的改善效果, 同时比较不同药剂投加量下, 污泥脱水分离液中丙烯酰胺的含量, 根据实验结果优选出既能较好改善污泥脱水性能, 又能使丙烯酰胺回用风险最小的 PAM 类型和投加量.

1.1 方案及操作步骤

采用烧杯实验进行污泥调质和脱水的模拟, 选用 1 000 mL 相同浓度的浓缩污泥, 分别投加不同剂量的 PAM, 以 200 r/min 搅拌 30 s, 50 r/min 搅拌 1 min, 使 PAM 与浓缩污泥充分混合, 然后取混合均匀的污泥进行污泥比阻测定和离心脱水. 具体实验步骤如下:

(1) 分别配制浓度均为 2‰ 的阴离子型和阳离子型 PAM 标准溶液.

(2) 在 1 000 mL 相同浓度的浓缩污泥中, 分别投加不同剂量的两种类型的 PAM 溶液, 按烧杯实验条件设置实验程序, 进行 PAM 不同投加量的调质模拟实验.

收稿日期: 2011-12-05 修改稿日期: 2012-03-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(50978213); 陕西省“13115”科技创新工程重大科技专项项目(2010ZDKG-110)

作者简介: 李文英(1978-), 女, 陕西西安人, 博士研究生, 主要从事水资源保护与水处理技术方面的研究工作.

(3)反应完毕,取 100 mL 混合均匀的调质污泥测定污泥比阻值(采取抽真空方式,真空度为 0.05 MPa)。

(4)取 70 mL 混合均匀的污泥装入 100 mL 离心管中,在离心机中进行离心脱水,离心后测定分离液中丙烯酰胺含量。

1.2 仪器及方法

测定指标需要的仪器及测定方法如表 1 所示。

表 1 指标测定方法及使用仪器
Tab. 1 Testing methods and apparatus

Indicators	Testing methods	Name of apparatus
Acrylamide	Ultra-high performance liquid chromatography-mass spectrometry	Ultra-high performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometer
		Ultrasonic cleaner
Sludge specific resistance	Busher funnel method	Homemade sludge specific resistance device
		Magnetic stirrer
		Coagulation stirrer
		Vacuum pump

1.3 色谱条件

色谱柱:Waters ACQUITY HSS T3(1.8 μm , 2.1 mm \times 50 mm);柱温:35 $^{\circ}\text{C}$;流动相:乙腈,0.1%甲酸水,体积比 5:95;进样量:10 μL ;流速:0.2 mL/min。

1.4 质谱条件

离子源:ESI+模式;毛细管电压:3.10 kV;锥孔电压:28 V;二级锥孔电压:2 V;源温:120 $^{\circ}\text{C}$;脱溶剂温度:350 $^{\circ}\text{C}$;脱溶剂气流速:400 L/h;定量方式:多反应监测(MRM)模式;定量离子:(72>55);定性离子:(72>44);碰撞能量:9 eV。

2 实验结果及分析

2.1 调质前浓缩污泥的比阻值

实验污泥取自该水厂生产废水处理系统的浓缩池,属于化学凝聚性污泥(混凝剂为聚合氯化铝铁),图 1 为所测浓缩污泥的比阻值。

由图 1 可知,当污泥浓度为 1.69 g/L 时,污泥比阻为 105.84×10^{11} m/kg,随着污泥浓度的增大污泥比阻值逐渐降低,当污泥浓度超过 3.42 g/L 时,污泥比阻基本稳定在 $50 \sim 60 \times 10^{11}$ m/kg 之间。水厂污泥脱水调质前,属于较难脱水污泥^[6]。

要提高浓缩污泥的脱水性能,降低污泥的比阻值,需要对污泥进行调质处理。目前,大多净水厂都采用高分子絮凝剂 PAM 进行污泥调质。PAM 是以丙烯酰胺为原料,经催化合成制成丙烯酰胺单体,再由丙烯酰胺单体通过聚合键聚合而成。由于在合成的过程中,存在部分未被聚合的丙烯酰胺单体,而这些单体具有很大的毒性。因此,出厂水的丙烯酰胺单体含量必须要严格控制。根据我国《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006),要求生活饮用水中丙烯酰胺单体的含量小于 0.5 $\mu\text{g/L}$ 。

2.2 PAM 类型和投量对污泥比阻的影响

对不同浓度的污浓缩泥分别投加 0.03 g/L,0.09 g/L,0.12 g/L,0.18 g/L 和 0.27 g/L 剂量的 PAM,图 2 为投加 PAM 后污泥比阻的测定结果。

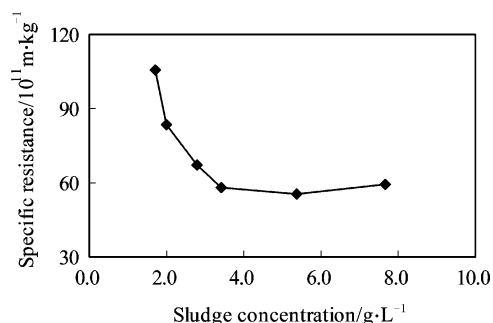


图 1 调质前不同浓度污泥的比阻值

Fig. 1 Specific resistance to filtration in different sludge concentration before dosing PAM

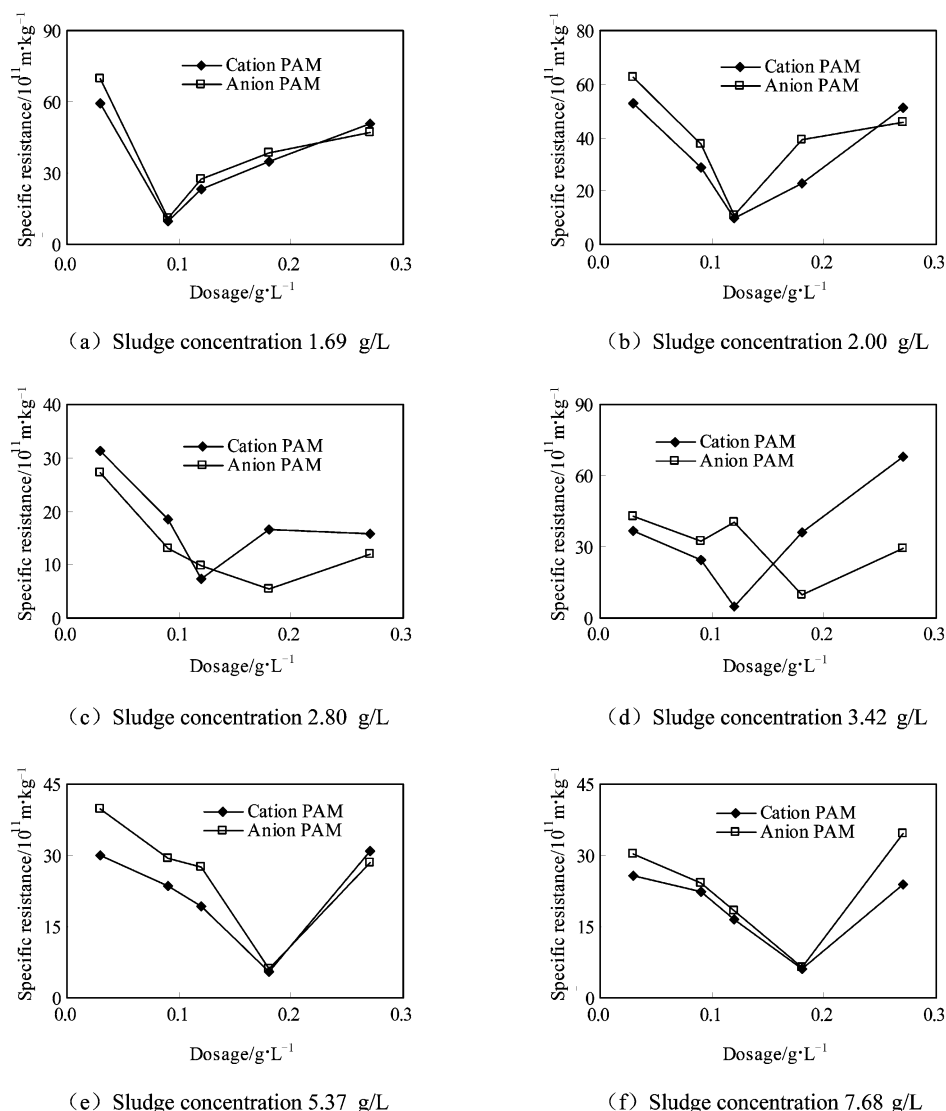


图 2 调质后不同浓度污泥的比阻值

Fig. 2 Specific resistance to filtration in different sludge concentration after dosing PAM

由图 2 可知,投加阴离子型和阳离子型 PAM 的曲线基本相同,每种污泥浓度下都存在一个最佳投药量.当投药量超过此最佳值时,污泥比阻反而升高.这是因为投加过量 PAM 后,许多 PAM 分子链的一段吸附在同一个颗粒表面,或者许多个 PAM 分子线团环绕在污泥颗粒周围,形成水化外壳,将污泥颗粒完全包围起来,阻止了颗粒间的接触,对污泥颗粒起到了保护作用^[7].两种类型的 PAM 对浓缩污泥比阻的降低都有良好效果,当达到最佳投药量时,污泥比阻降低了近一个数量级,显著改善了污泥的脱水性能.

根据该厂的实际浓缩污泥浓度,确定该厂最佳投药量变化范围为 0.09~0.16 g/L.

2.3 PAM 类型和投量对丙烯酰胺的影响

不同浓缩污泥浓度下,投加不同类型和剂量的 PAM 后,上清液中丙烯酰胺单体的含量如图 3 所示.

由图 3 可知,两种类型的 PAM 投加后,污泥脱水分离液中丙烯酰胺的含量有相同的变化趋势,丙烯酰胺含量与 PAM 投加量都呈正相关,而与污泥浓度的大小没有直接的相关性.因此,必须适当投加 PAM,以尽可能地减少回用水中丙烯酰胺含量,降低回用风险.同时从图中还可以看出,投加阳离子型 PAM 后,丙烯酰胺含量的变化范围为 18.89~354.27 $\mu\text{g}/\text{L}$,而投加阴离子型 PAM 后,含量仅为 3.45

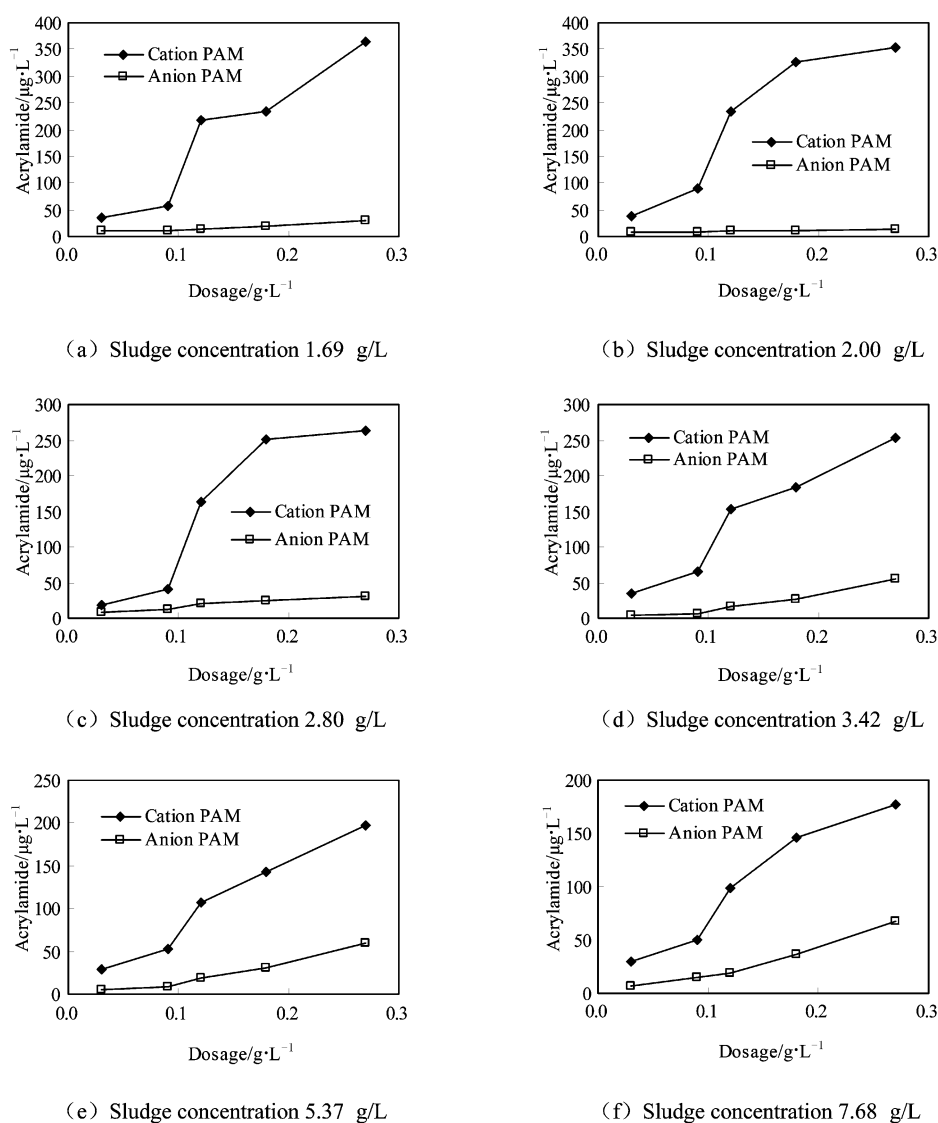


图3 不同污泥浓度下分离液中丙烯酰胺的含量

Fig. 3 Acrylamide monomer content of the supernatant in different sludge concentration

~67.30 $\mu\text{g/L}$. 因此,在控制分离液中丙烯酰胺的含量方面,阴离子型 PAM 效果更佳.

在满足污泥脱水效果的同时,并综合考虑污泥脱水分离液中的丙烯酰胺含量,本厂采用阴离子型 PAM,最佳投药量范围为 0.09~0.16 g/L. 在此条件下的检测结果表明,出厂水中的丙烯酰胺含量全年都在 0.125 $\mu\text{g/L}$ 以下,有效降低了生产废水回用后出厂水中丙烯酰胺单体含量超标的风险.

3 结 论

(1) 水厂浓缩污泥脱水调质前,污泥比阻值在 $55.39 \times 10^{11} \sim 105.84 \times 10^{11} \text{ m/kg}$ 之间,属于较难脱水污泥.

(2) 在不同的污泥浓度下,投加阴、阳离子型 PAM 均能有效降低污泥比阻值,改善污泥脱水性能,且在每种污泥浓度下都存在一个最佳投药量.

(3) 污泥脱水分离液中丙烯酰胺的含量与 PAM 的投加量呈正相关,而与污泥浓度没有相关性. 在控制丙烯酰胺单体残留量方面,阴离子型 PAM 效果更佳.

(4) 在满足污泥脱水效果的同时,并综合考虑污泥脱水分离液中的丙烯酰胺含量,采用阴离子型

PAM,投药量在 0.09~0.16 g/L 之间,可有效降低生产废水回用后出厂水中丙烯酰胺单体含量超标的风险.

参考文献 References

- [1] 王鑫,李梅,刘雷,等. 给水厂生产尾水回用技术研究[J]. 山东建筑大学学报, 2011, 26(1): 67-70.
WANG Xin, LI Mei, LIU Lei, et al. Analysis of tail water reuse technology in water supply plants[J]. JOURNAL OF SHANDONG JIANZHU UNIVERSITY, 2011, 26(1): 67-70.
- [2] 李笑梅. 给水厂排泥水安全回用试验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010 .
LI Xiao-mei. The experimental study for recycling sludge water safely in water plant[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010.
- [3] C B Chidambara Raj, Tan Ee Kwong, Wong Wai Cheng, et al. Wash water in waterworks: contaminants and process options for reclamation[J]. Journal of Environmental Sciences, 2008, 20(11): 1300-1305.
- [4] 甘立友,周利,刘灵菊,等. 聚丙烯酰胺在给水厂排泥水处理中的应用研究[J]. 苏州科技学院学报:工程技术版, 2008, 21(4): 29-32.
GAN Li-you, ZHOU Li, LIU Ling-ju, et al. The Research on Application of Polyacrylamide to Sludge Water Treating in Water Treatment Plant[J]. J. of University of Science and Technology of Suzhou: Engineering and Technology, 2008, 21(4): 29-32.
- [5] Richard J Wakeman. Separation technologies for sludge dewatering[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 144(3): 614-619.
- [6] 黄廷林,聂小保,张刚. 水厂生产废水污泥比阻测定的影响因素分析及方法改进[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版, 2005, 37(3): 297-300.
HUANG Ting-lin, NIE Xiao-bao, ZHANG Gang. Method improvement of sludge specific resistance measurements in the water plant[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech: Natural Science Edition, 2005, 37(3): 297-300.
- [7] 杨兴涛,赵建伟,刘杨,等. 阴离子型 PAM 在水厂污泥脱水中的应用[J]. 供水技术, 2007, 1(4): 34-36.
YANG Xing-tao, ZHAO Jian-wei, LIU Yang, et al. Application of anionic PAM in sludge dewatering of waterworks[J]. WATER TECHNOLOGY, 2007, 1(4): 34-36.

Risk control of acrylamide in wastewater reuse of waterworks

LI Wen-ying^{1,2}, HUANG Ting-lin¹, LI Chen³, HUANG Zhuo¹

(1. School of Environment and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. Institute of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 3. Tianjin Huabo Water Works Co. Ltd., Tianjin 300011, China)

Abstract: Taking the major urban surface source water plant in Xi'an as object, the paper carried out a study on the risk control of acrylamide content. The results showed that PAM of both cation type and anion type can be used to improve the performance of sludge dewatering. Although the dewatering performance was improved at similar levels, the residual acrylamide monomer in the effluent was lower using PAM of anion type. To meet the purposes of small specific resistance to filtration of sludge and low residual acrylamide monomer in the supernatant, it is recommended to use anion type PAM. As the optimum PAM dosages were 0.09 g/L—0.16 g/L for the water supply plant, the risk of acrylamide monomer in the effluent would be decreased if the above optimum PAM dosages were used in the wastewater treatment process.

Key words: acrylamide; risk control; sludge specific resistance; sludge dewatering