

论述与研究

污泥浓缩池中磷的释放及其强化去除措施

李吉玉¹, 刘安平¹, 毛先勇², 谢荣焕², 胡香², 侯红勋²

(1. 云南国祯环保科技有限责任公司, 云南 昆明 650106; 2. 安徽国祯环保节能科技股份有限公司, 安徽 合肥 230088)

摘要: 城市污水处理厂污泥浓缩池上清液和脱水机滤液重新回流入污水处理系统会增加系统的磷负荷。针对污水处理厂剩余污泥浓缩过程中浓缩时间、投加聚合氯化铝(PAC)以及曝气对磷释放的影响进行了研究。结果表明,污泥浓缩池中的剩余污泥静置4 h后,释磷速率显著加快。在污泥浓缩池投加0.1 g/g干泥的PAC不仅将快速释磷时间延迟至8 h,还可以显著降低上清液中的磷酸盐浓度。对污泥浓缩池曝气30 min且溶解氧达到3 mg/L以上时,上清液中磷酸盐浓度降低了77.7%。通过合理控制剩余污泥在浓缩池中的停留时间、投加PAC以及曝气等,可以降低浓缩池上清液磷浓度,有效提高系统的除磷效果。

关键词: 污泥浓缩池; 停留时间; 磷释放; 曝气; 聚合氯化铝

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)13-0001-05

Release of Phosphorus in Sludge Thickener and Its Enhanced Removal Measures

LI Ji-yu¹, LIU An-ping¹, MAO Xian-yong², XIE Rong-huan², HU Xiang²,
HOU Hong-xun²

(1. Yunnan Guozhen Environmental Protection Technology Co. Ltd., Kunming 650106, China; 2. Anhui Guozhen Environmental Protection Science and Technology Co. Ltd., Hefei 230088, China)

Abstract: The reflux of the supernatant from the sludge thickener and the filtrate from dehydrator will increase the phosphorus load of biological tank in municipal sewage treatment plant. The effects of concentration time, as well as the PAC addition and aeration on phosphorus release in the process of excess sludge concentration were studied. The results showed that the phosphorus release rate of excess sludge in the sludge thickener accelerated significantly after 4 hours. The PAC addition of 0.1 g/g dry sludge into sludge thickener not only delayed the rapid phosphorus release time to 8 hours, but also significantly reduced the phosphate concentration in the supernatant. In the case of aeration for sludge thickener for 30 min, making the dissolved oxygen above 3 mg/L, the phosphorus concentration in supernatant decreased by 77.7%. By reasonably controlling the residence time of excess sludge in the thickener, adding PAC or aeration, the concentration of phosphorus in the supernatant can be reduced, and the phosphorus removal efficiency of the bio-system can be improved effectively.

Key words: sludge thickener; residence time; phosphorus release; aeration; PAC

污泥浓缩池是污水处理系统中的一个重要功能单元。污泥浓缩池的浓缩方法主要分为重力浓缩、气浮浓缩和机械浓缩。目前,国内以重力浓缩为主,占71.5%,机械浓缩和气浮浓缩分别占21.4%和7.1%。根据《室外排水设计规范》(GB 50014—2016)中的规定:当采用生物除磷工艺进行污水处理时,不应采用重力浓缩。这是因为污水生物除磷工艺是靠聚磷菌在好氧条件下超量吸磷形成富磷污泥,通过排出富磷污泥来达到生物除磷的目的。重力浓缩池的水力停留时间长,污泥在池内会发生厌氧释磷,如果将污泥水直接回流至污水处理系统,将增加污水处理的磷负荷,降低生物除磷的效果。然而,周玉红等^[1]对比研究了A²/O和MBR工艺剩余污泥浓缩过程中磷释放的差别,指出24 h内上清液磷浓度仍小于进水总磷浓度,因此采用脱氮除磷工艺的污水厂也可以采用污泥浓缩池来浓缩剩余污泥,浓缩过程中磷的释放对污水处理不会产生明显的影响,并且与机械浓缩相比,在脱水效果、脱水PAM用量方面有一定优势。李振华^[2]研究了浓缩时间对浓缩效果、磷释放及去除的影响,指出控制污泥二次释磷的关键在于选择合适的污泥沉降时间,当将污泥沉降时间控制在48 h以内时,磷不会大量释放,基本稳定在可控范围。

尽管如此,多数情况下采用脱氮除磷工艺的污水厂在重力浓缩过程中产生的污泥水应进行除磷后再返回水处理构筑物进行处理。若浓缩池控制不当,剩余污泥的厌氧释磷会使上清液中总磷浓度升高,上清液回流至污水处理厂进水头部继续在系统内循环,这是污水处理厂磷负荷过高的重要原因之一^[2],也是整个污水处理系统磷去除效率低下的原因之一。何康生等^[3]通过分析广州市大坦沙污水处理厂污泥浓缩池上清液、脱水机滤液、回流泵房集水井磷浓度,探讨污泥处理过程中磷的释放规律,并研究了不同化学药剂的除磷效果,比选出了合适的化学药剂及其最佳投加量。结果表明,所选用的化学除磷药剂对浓缩池上清液和脱水机滤液中TP去除强弱的顺序为:硫酸铝>聚合氯化铝>聚合氯化铁>石灰。其中,硫酸铝是最佳的化学除磷药剂。丁大勇等^[4]在回流水中投加氯化铁、硫酸铝、聚合氯化铝等混凝剂,进行了污泥浓缩、脱水滤液除磷试

验研究,发现硫酸铝的效果最好,也最经济。当回流水中TP的浓度为20 mg/L左右时,硫酸铝的投加量达40 mg/L即能获得80%以上的除磷效果,同时还能去除40%左右的COD。

鉴于目前我国仍有大量的脱氮除磷工艺污水处理厂采用重力浓缩池,而有关重力浓缩池磷释放的控制措施仍比较缺乏的现状,笔者以南方某脱氮除磷工艺污水处理厂污泥浓缩池为例,考察了停留时间对磷释放的影响,以及投加PAC和曝气对上清液中磷释放的控制效果,以期为污泥浓缩池的工艺控制提供参考。

1 材料与方法

1.1 污水厂污泥处理概况

我国南方某县城市生活污水处理厂设计处理能力为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用CAST工艺,污水处理工艺流程如图1所示。2012年—2018年主要进水水质如下:COD、BOD₅、SS、NH₄⁺-N、TN、TP浓度范围分别为63~649、25.8~235、48~412、8~55、12.7~66.2、0.19~14.84 mg/L,相应的均值为174、67.2、168、21.4、26.6、3.15 mg/L;pH值在7.02~7.87之间变化,平均为7.65。出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》的一级B排放标准。

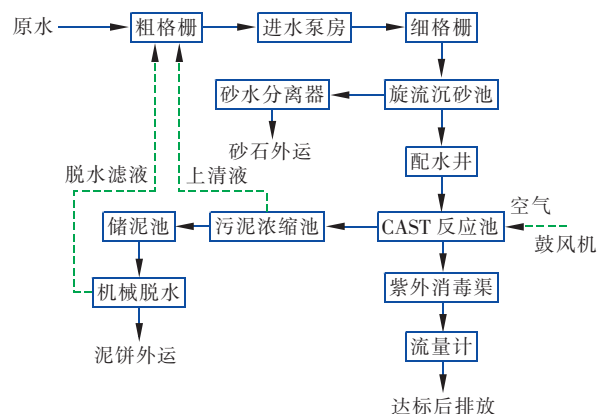


图1 污水厂处理流程

Fig. 1 Flow chart of the wastewater treatment plant

剩余污泥采用先重力浓缩后机械脱水的模式,由污泥泵从生化池输送至污泥浓缩池,通过重力浓缩将污泥含水率由99.2%~99.6%降至97%~98%,后进入带式脱水机进行脱水处理,将含水率降至80%以下。浓缩池中的上清液和脱水机滤液回流至污水厂前端的构筑物进行重新处理。自2012

年至2018年5月,随着城市建设过程中雨污分流程度的不断提高,进水总磷浓度呈逐年升高趋势。为了减轻污水处理系统的磷负荷,从污泥浓缩池及后续污泥脱水环节着手,研究如何增加磷在污泥中的聚积量,通过科学控制污泥浓缩池的运行来提高系统的除磷效率。

1.2 试验方法

1.2.1 停留时间对释磷的影响

取新鲜剩余污泥10 L,污泥浓度为28 g/L左右,置于试验装置中,期间间隔2 h摇匀沉淀(底部污泥层释放的磷与上清液中磷充分混合)后取上清液分析磷酸盐浓度,试验持续68 h,重复4次。

1.2.2 投加PAC对释磷的影响

该试验与1.2.1节同步进行,取相同新鲜剩余污泥10 L,污泥浓度为28 g/L左右,置于相同试验装置中,投加一定量的PAC(10 g),溶解混合均匀后静置,期间间隔2 h摇匀沉淀,取上清液分析磷酸盐浓度,试验持续68 h,重复4次。

1.2.3 曝气对释磷的影响

取新鲜剩余污泥10 L,污泥浓度为16 g/L左右,置于容器内,静沉30 min后通过JBEO 660充氧泵进行曝气,曝气强度为4 L/min,每隔30 min对DO进行监测,并采样分析上清液中磷酸盐浓度。

1.2.4 脱水环节磷的变化

在浓缩池不投加PAC和投加PAC两种情况下,分别取带式脱水机浓缩段和压榨段滤液与进带机前污泥上清液中磷酸盐浓度进行对比。重复试验7次。

1.3 分析项目与方法

污泥浓度:重量法;磷酸盐/总磷:钼酸铵分光光度法;DO:WTW Oxi3310便携式溶氧仪。

2 结果与讨论

2.1 停留时间对浓缩池磷释放的影响

新鲜剩余污泥在68 h内的释磷情况如图2所示。随着浓缩时间的延长,污泥中的磷逐渐释放,在0~4 h内,上清液中磷的浓度变化不大,释磷速率较慢,平均释放速率为0.117 mg/(gMLVSS·h),说明刚排放出的剩余污泥中携带部分溶解氧,在一段时间内还形不成释放磷所需要的厌氧环境,所以释放较慢。随着浓缩时间进一步加长,水中的溶解氧消耗殆尽,环境越来越接近厌氧,磷释放现象也越来越明显。在4~68 h磷浓度从12.98 mg/L升至160

mg/L,平均释磷速率为0.157 mg/(gMLVSS·h),明显大于前4 h的释磷速率。试验结束时上清液中的磷酸盐浓度明显高于李振华^[2]通过静态试验测得的浓缩池剩余污泥沉降72 h时的磷浓度(62.10 mg/L)。这一方面是由于不同工艺的剩余污泥的释磷特性存在差异,另一方面可能是由于试验过程中每隔2 h的搅拌过程促使剩余污泥再悬浮,促进了剩余污泥中的磷释放,加速了剩余污泥间隙水中磷的扩散。由此可见,该厂活性污泥具有较强的释磷能力,若控制得当可充分发挥污泥的聚磷能力,从而提高系统的生物除磷效果。

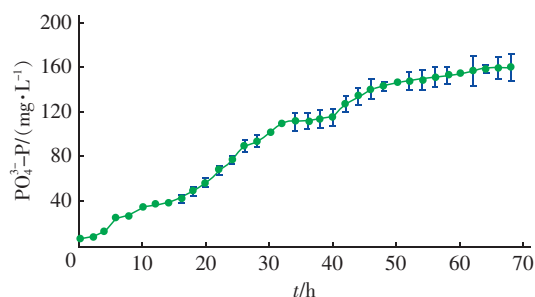


图2 新鲜剩余污泥中磷浓度随时间的变化

Fig.2 Variation of phosphorus concentration in excess sludge with different settling time

结合实际生产控制情况,该污水厂污泥浓缩池新排入的剩余污泥的停留时间不宜超过4 h,在4 h内将浓缩后的剩余污泥输送入污泥脱水系统能够最大程度地减少剩余污泥中磷的释放,从而提高污泥脱水环节对磷的去除效率。当前污水处理厂污泥浓缩池的池容设计普遍较大,实际生产中通常是定期将剩余污泥排入污泥浓缩池,导致污泥浓缩池通常处于高液位运行,延长了剩余污泥在浓缩池中的停留时间,增加了剩余污泥中磷的释放。因此,实际运行中一方面应控制浓缩池的运行液位,缩短剩余污泥在浓缩池的停留时间,尽量减少磷的释放。污泥脱水系统开机前2 h将剩余污泥排放至污泥浓缩池进行浓缩,排放量以脱水系统开机一次可处理的量为宜。另一方面,需要采取合理的措施控制上清液中磷的含量,尽量降低上清液和后续污泥脱水滤液重新进入进水头部的磷含量,降低系统的磷负荷。在后续试验中考察了投加PAC及曝气对上清液中磷含量的影响。

2.2 投加PAC对浓缩池磷释放的影响

新鲜剩余污泥投加PAC后磷释放的情况如图3

所示。可以看出,投加一定量的 PAC 后,磷释放速度明显放缓,在 0~4 h 平均释磷速率为 0.045 mg/(gMLVSS·h),在 0~8 h 平均释磷速率为 0.036 mg/(gMLVSS·h),均明显低于不投加 PAC 条件下 0~4 h 的平均释磷速率即 0.117 mg/(gMLVSS·h)。剩余污泥静置沉淀 8 h 后,磷的释放速率明显加快,在 8~68 h 从 7.34 mg/L 升至 138.37 mg/L,平均释磷速率为 0.150 mg/(gMLVSS·h),与不加 PAC 条件下 4~68 h 的平均释磷速率即 0.157 mg/(gMLVSS·h)相当。新鲜剩余污泥的 PAC 投加量为 0.1 g/g 干泥时,磷释放时间较相同条件下不投加 PAC 的延迟了 4 h。因此,当剩余污泥不能及时进入脱水系统脱水,或污泥浓缩上清液中磷含量较高时,可投加一定量的 PAC 来延缓剩余污泥中磷的释放,PAC 的最佳投加量则需做进一步的研究。

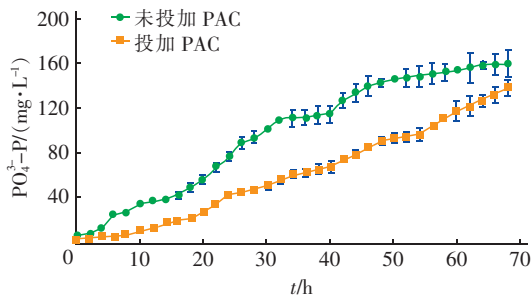


图3 剩余污泥投加 PAC 后磷浓度随时间的变化

Fig. 3 Variation of phosphorus concentration with settling time after adding PAC in excess sludge

2.3 曝气对浓缩池磷释放的影响

在浓缩池的日常运行管理中,通常会通过底部曝气对浓缩池进行搅拌,在曝气的情况下又会发生好氧吸磷作用。图4所示为剩余污泥在静沉4 h后以4 L/min的曝气强度对污泥进行曝气时对上清液中磷酸盐含量的影响。当剩余污泥快速释磷开始即新鲜污泥静置4 h时,打开曝气开关,剩余污泥中的聚磷菌以溶解氧为电子受体,以体内贮存的PHA为电子供体进行吸磷反应。曝气30 min后,浓缩池中的溶解氧浓度达到3.54 mg/L,上清液中的磷酸盐浓度从5.93 mg/L快速降至1.32 mg/L,下降了77.7%,平均吸磷速率为1.10 mg/(gMLVSS·h)。之后上清液中的磷酸盐浓度下降速度变缓,曝气90 min时,磷酸盐浓度为0.89 mg/L,基本恢复至初始水平。说明该污水处理厂的活性污泥具有较强的厌氧释磷和好氧吸磷能力,利用这一特点可在工艺流

程中增加回流污泥好氧吸磷环节,从而降低进入生化系统的磷负荷。

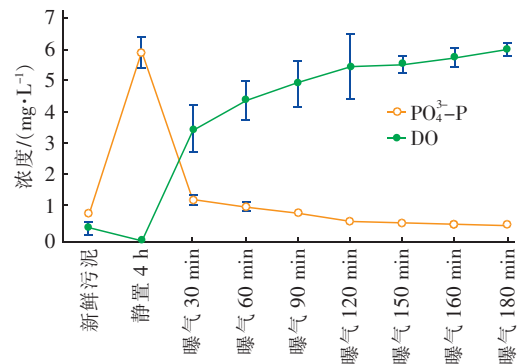


图4 曝气对剩余污泥厌氧释磷后好氧吸磷的影响

Fig. 4 Effect of aeration on the phosphorus uptake in excess sludge

采用曝气方式降低污泥浓缩池上清液中磷酸盐含量,与投加 PAC 或其他除磷药剂相比具有对生化系统毒害作用小、经济方便和更能保持活性污泥生物除磷能力的优点。对于设有污泥回流系统的处理工艺,可对污泥浓缩池(或储泥池)进行技术改造,增设剩余污泥池,通过曝气(最佳曝气时间需通过对活性污泥进行好氧吸磷速率测定后确定)降低上清液中磷酸盐浓度,从而提高污泥中磷含量,然后使底部污泥进入脱水系统进行处理;另设一回流污泥释磷池,剩余污泥静置一段时间后搅拌,静置时间需通过测定污泥释磷速率来确定,并将上清液(磷酸盐浓度越高越好)排入剩余污泥池,底部污泥则回流至前端生化段。这对现有污水处理厂污泥浓缩池改造和新建污水处理厂的工艺设计具有一定的指导意义。

2.4 脱水环节磷酸盐的变化

在浓缩池不投加 PAC 和投加 PAC 两种情况下,取带式脱水机浓缩段和压榨段滤液与进带机前污泥上清液中的磷酸盐浓度进行对比,结果表明,当浓缩池不投加 PAC 时,进入带式脱水机前剩余污泥上清液中磷酸盐与浓缩段和压榨段滤液中磷酸盐分别为 56.47、54.32、53.10 mg/L,进入带式脱水机前剩余污泥上清液中磷酸盐比浓缩段和压榨段滤液中磷酸盐分别仅高出 3.8% 和 6.0%,说明剩余污泥经过带式脱水机后污泥中所携带的磷未发生明显释放和流失。剩余污泥进入脱水机脱水环节,上清液和滤液中磷含量越高意味着泥的磷含量越少,对整个

污水处理系统除磷不利,因此必须控制进入脱水机前剩余污泥上清液中磷酸盐的含量。

在浓缩池投加 PAC 后剩余污泥上清液中的磷酸盐含量从 45.16 mg/L 降低至 10.84 mg/L,降低了 76.0%。其主要原因是 PAC 中的铝离子与磷酸根离子结合形成了磷酸盐沉淀。进入带式脱水机前剩余污泥上清液中磷酸盐与浓缩段和压榨段滤液中磷酸盐分别为 10.83、10.33、9.89 mg/L,上清液与带式脱水机浓缩段和压榨段产生的滤液中的磷酸盐浓度相差不大,与未投加 PAC 的情况相似,即剩余污泥通过带式脱水机后污泥中所携带的磷酸盐未发生明显释放和流失。该试验说明污泥浓缩池磷酸盐固定(从上清液转移固定至污泥中)的量决定了磷去除的多少,在脱水环节污泥中的磷不会释放至滤液中,上清液中磷酸盐的含量决定了滤液中的磷酸盐含量,也决定了回流系统中磷的负荷。

3 结论

① 污泥浓缩池中的剩余污泥静置 4 h 后,释磷速度显著加快,剩余污泥排出生化系统后宜在浓缩池停留 4 h 以内进入污泥脱水系统。

② 在污泥浓缩池投加一定量的 PAC 后,快速释磷时间可延缓至 8 h,上清液中的磷酸盐浓度显著降低,污泥中磷含量增加,可以提升系统除磷效果。可采取在污泥浓缩池投加 PAC 的措施延缓磷的释放,并降低上清液中磷酸盐浓度。

③ 对污泥浓缩池曝气 30 min,当溶解氧达到 3 mg/L 以上时,上清液中磷酸盐浓度降低了 77.7%。因此,可采取对污泥浓缩池曝气的措施来降低其上清液中的磷酸盐浓度。

参考文献:

[1] 周玉红,杨威,任重远. A^2/O 和 MBR 工艺剩余污泥浓缩过程中磷释放对比[J]. 广东化工,2014,41(5): 216,225.

Zhou Yuhong, Yang Wei, Ren Zhongyuan. Comparison of phosphorus releasing during sludge concentration of A^2/O

process and MBR process [J]. Guangdong Chemical, 2014, 41(5): 216, 225 (in Chinese).

[2] 李振华. 浓缩时间对污泥浓缩效果、磷释放及去除的影响[J]. 中国给水排水, 2012, 28(3): 64-66.

Li Zhenhua. Effect of concentration time on sludge concentration efficiency, phosphorus release and removal [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(3): 64-66 (in Chinese).

[3] 何康生,余建恒,叶恒朋,等. 广州市大坦沙污水处理厂污泥处理过程中磷的释放及去除研究[J]. 给水排水, 2007, 33(增刊): 91-94.

He Kangsheng, Yu Jianheng, Ye Hengpeng, et al. Study on release and removal of phosphorus in sludge treatment process of Guangzhou Datansha Wastewater Treatment Plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2007, 33(S): 91-94 (in Chinese).

[4] 丁大勇,陈玉叶. 污泥浓缩、脱水滤液除磷试验研究[J]. 工业水处理, 2004, 24(3): 44-46.

Ding Dayong, Chen Yuye. Study on removing phosphorus in clarified liquid from sludge thickening and sludge dewatering [J]. Industrial Water Treatment, 2004, 24(3): 44-46 (in Chinese).



作者简介:李吉玉(1980-),男,河南邓州人,硕士,工程师,从事水处理技术研发及污水厂运行管理工作。

E-mail: 12485359@qq.com

收稿日期:2019-01-10