

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.15.017

二沉池不同径向分布活性污泥对脱氮除磷的影响

刘 流¹, 倪黄蕾², 梁 军¹, 许 健¹, 陈 昊³, 梁雪峰¹,
刘 俊⁴

(1. 浙江省工业设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310051; 2. 浙江富春紫光环保股份有限公司, 浙江 杭州 310013; 3. 常州市鼎亨机电设备有限公司, 江苏 常州 213000;
4. 同济大学浙江学院 土木工程系, 浙江 嘉兴 314051)

摘 要: 以浦江某城镇污水处理厂二沉池不同径向分布活性污泥为研究对象, 分析了污泥的沉降性能和有机质含量, 并考察了其对脱氮除磷和SS去除效果的影响。结果表明, 沿二沉池径向分布(由内向外)的污泥沉降性逐渐降低, 有机质含量逐渐升高, 微生物数量先增后减; 径向中部活性污泥的脱氮除磷效果更好, SS去除率更高。

关键词: 二沉池; 径向分布; 活性污泥; 脱氮除磷; 沉降性能

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)15-0104-05

Effect of Different Radial Distribution of Activated Sludge on Nitrogen and Phosphorus Removal in Secondary Settling Tank

LIU Liu¹, NI Huang-lei², LIANG Jun¹, XU Jian¹, CHEN Hao³, LIANG Xue-feng¹,
LIU Jun⁴

(1. Zhejiang Industrial Design & Research Institute Co. Ltd., Hangzhou 310051, China;
2. Zhejiang Fuchun Ziguang Environmental Protection Co. Ltd., Hangzhou 310013, China;
3. Changzhou Dingheng Electromechanical Equipment Co. Ltd., Changzhou 213000, China;
4. Department of Civil Engineering, Tongji Zhejiang College, Jiaxing 314051, China)

Abstract: The settling performance and organic matter content of different radially distributed activated sludge in the secondary settling tank of a municipal wastewater treatment plant in Pujiang were analyzed, and their effects on nitrogen, phosphorus and SS removal were investigated. Along the radial distribution (from inside to outside) of the secondary settling tank, sludge settleability gradually decreased, organic matter content gradually increased, and the number of microorganisms increased first and then decreased. The activated sludge at the middle of the radial direction had better nitrogen and phosphorus removal performance and higher SS removal efficiency.

Key words: secondary settling tank; radial distribution; activated sludge; nitrogen and phosphorus removal; settleability

基金项目: 污染控制与资源化研究国家重点实验室开放课题(PCRRF20007); 嘉兴市公益研究计划项目(2021AY10080)

通信作者: 刘俊 E-mail: liuj521282@sina.com

根据《中国城市建设统计年鉴2019》,截至2019年全国累计建成城镇污水处理厂4 140座,污水处理量为 $2.145 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$,污水平均处理率达到95.2%。目前,我国较多污水处理厂的活性污泥普遍存在无机质含量过高问题,导致污泥的活性不足,进而引起生化系统处理能力与效率的降低,影响污水处理厂的正常运行和出水水质达标,同时限制了污泥的处置方式^[1-2]。污泥处理以卫生填埋、焚烧发电、建筑材料综合利用为主,但仍有35%左右的污泥未得到合理处置,这对生态环境具有一定的潜在危害^[3]。

对于生化系统的污泥,一般在二沉池中采取统一收集、统一回流的方式,而剩余污泥也未经区分就外排处置。沉降性较差的污泥回流到生化池后,不利于二沉池的泥水分离,会导致二沉池出水SS过高。二沉池内活性污泥通过絮凝和沉淀实现泥水分离,是决定出水水质的关键步骤之一^[4]。二沉池内不同区域活性污泥的沉降性能和有机质含量不同^[5],然而有关二沉池不同径向分布活性污泥的微观特征及其对脱氮除磷影响的相关报道并不多见。因此,笔者以实际生活污水为处理对象,考察了二沉池不同径向分布活性污泥在SBR反应器中的脱氮除磷效果,旨在为二沉池污泥选择性收集回流和剩余污泥的合理处置等实际应用提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验用水

试验装置设置于浦江某城镇污水处理厂内,试验时间为3月初,室外温度为12~17℃。试验用水为该污水处理厂旋流沉砂池出水,其COD、BOD₅、NH₄⁺-N、TN、TP分别为200~250、120~150、21~30、30~45、4~6 mg/L, pH为6~9。

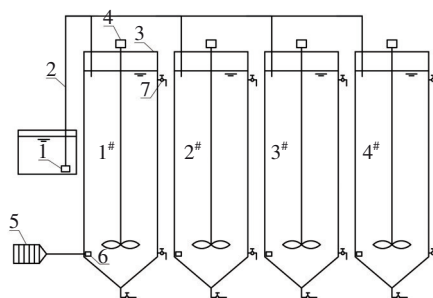
1.2 试验用泥

活性污泥取自该污水厂二沉池,二沉池形式为中进周出辐流式,直径为40 m,有效水深为4.12 m。以二沉池中心点为圆心,沿同一半径方向距离圆心1、10和20 m位置分别为第1次(A1、B1、C1)、第2次(A2、B2、C2)和第3次(A3、B3、C3)的取泥点。为避免取到上清液,取泥点均设在泥层以下靠近池底处。在间隔120°的3个半径上进行等距离取泥,之后将取得的3个样品混合均匀,以此作为试验用泥,按照取泥点的半径由内向外分别命名为S1、S2和

S3。二沉池排泥管出泥口的活性污泥命名为S4。

1.3 试验装置及运行方式

试验装置见图1。反应器材质为有机玻璃,共4组,依次命名为1#、2#、3#、4#,各反应器尺寸一致,高为70 cm,直径为19 cm,有效容积为11 L,总容积为14 L。1#、2#、3#、4#反应器分别接种5 000 mg/L污泥(S1、S2、S3、S4)。



1.进水泵 2.进水管 3.反应器 4.搅拌器 5.气泵 6.曝气头 7.取样阀

图1 SBR试验装置示意

Fig.1 Schematic diagram of SBR

运行方式:方式一,进水1 min,曝气14 h,沉淀1 min,总反应时间约为14.03 h,溶解氧(DO)浓度均保持在2.0 mg/L;方式二,进水1 min,搅拌2 h,曝气14 h,沉淀30 min,搅拌器转速为150 r/min,好氧段DO控制在2.0 mg/L,总反应时间约为16.5 h;方式三,在运行方式二曝气结束以后,投加30 mg/L的碳源(醋酸钠)后继续搅拌7 h,搅拌器的转速为150 r/min。

运行方式一、二、三分别是为了验证二沉池不同径向分布的活性污泥去除氨氮、磷、总氮的能力。由于试验时间为3月初,室外温度较低,污泥活性不足,因此延长了反应器的运行时间。试验装置采用方式一运行结束后,清空装置,重新加入污水及接种污泥后采用方式二运行。方式三在方式二结束后投加碳源进行缺氧反应。

取样点说明:1#~4#反应器依次对应S1~S4,其目的是分析不同径向的污泥特征及脱氮除磷效果。S4样品更加接近实际工程的回流污泥,目的是验证S2相对于S4脱氮除磷的整体提升效果,从而为实际应用提供参考。

1.4 分析项目及检测方法

混合液悬浮固体(MLSS)、挥发性悬浮固体(MLVSS)、污泥容积指数(SVI)、TN、NH₄⁺-N和TP均按照《水和废水监测分析方法》(第4版)进行测定。

2 结果与讨论

2.1 沉淀池不同径向分布污泥特性

不同取样点污泥样品的理化特征见表1。可以看出, S1、S2和S3的 SVI_{30} 、MLVSS/MLSS值依次升高, 污泥密度依次下降。说明在传统辐流式二沉池内, 活性污泥的沉降性能从进水端至出水端逐渐下降, 密度较大、无机质含量较高的活性污泥更易沉淀在进水端附近, 密度较小、有机质含量较高的污泥更易沉淀在出水端附近。根据吴越等^[5]对某工业污水处理厂中进周出辐流式沉淀池池底污泥分布特征及水流流态的分析结果, 这种现象的出现具有一定的理论基础, 而非偶然存在, 在采用中进周出辐流式沉淀池工艺的污水处理厂属于常见现象。该污水处理厂二沉池为典型的中进周出辐流式, 在污水处理系统中具有一定的代表性。通过5次试验结果可知, 该不同径向污泥的分布符合中进周出辐流式二沉池的特征。S4为辐流式二沉池排泥管排出的混合污泥, 其 SVI_{30} 、MLVSS/MLSS、密度介于S1与S2之间。

表1 不同取样点污泥样品的理化特征

Tab.1 Characteristics of the sludge sample from different points

项目	$SVI_{30}/(mL \cdot g^{-1})$	MLVSS/MLSS	污泥密度/($kg \cdot m^{-3}$)
S1	40.5	0.45	1 030.4
S2	71.2	0.62	1 018.7
S3	110.7	0.71	1 011.2
S4	69.6	0.50	1 021.7

利用光学显微镜分别对4组活性污泥的外观形态进行了观测和拍照, 结果如图2所示。可以看出, S1的活性污泥中颗粒较多, 絮体密实; S2中有少许颗粒, 絮体形态较密实, 存在较多钟虫等微生物; S3中颗粒不可见, 絮体松散, 有少量的丝状菌; S4活性污泥的特性兼具前3个活性污泥的特点。

沉砂池砂水分离不彻底会带来一些细小砂粒, 一般无机质的沉降性会比有机质好, 因此S1中可见较多的颗粒物质。生化池一般不会出现所有活性污泥与污水完全均匀混合或曝气完全均匀的理想状态, 因此会存在部分活性污泥中丝状菌过度生长的情况。另外, 过度曝气导致活性污泥絮体被打散、污泥老化导致絮体解体等问题, 都会使污泥的沉降性变差, 这类沉降性较差的污泥会在沉淀池径向边缘沉淀, 所以S3活性污泥絮体整体松散, 甚至

有少量可见丝状菌。S2属于沉降性适中的污泥, 絮体稳定, 因此微生物更容易附着其上。

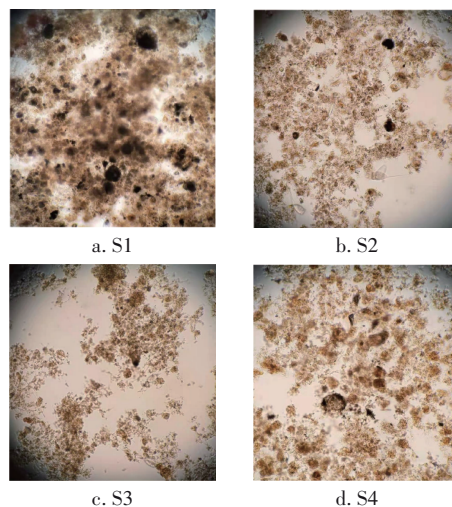


图2 各组活性污泥的外观形态

Fig.2 Morphological of activated sludge in each group

2.2 不同径向分布活性污泥对氨氮去除率的影响

运行方式一条件下, 不同沉降性活性污泥对氨氮的去除效果如图3所示。可知, S1~S4对氨氮的去除速率均为先慢后快再慢, 这与王亚宜等^[6]的研究结果相似。各组对氨氮的去除速率由快到慢依次为S2(沉降性适中污泥)>S4(混合污泥)>S3(沉降性较差污泥)>S1(无机质含量高污泥)。氨氮浓度降至1.5 mg/L所需时间的排序为S2(约7 h)<S4(约10 h)<S3(约11 h)<S1(约12 h)。相比于S4、S3、S1, S2的氨氮去除速率分别提升30.0%、36.4%、41.7%。

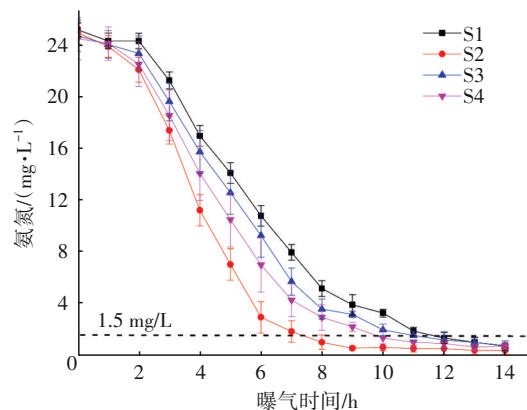


图3 S1~S4对氨氮的去除效果

Fig.3 Removal effect of ammonia nitrogen from S1 to S4

由此可见, 沉降性适中的污泥S2对氨氮的去除效果优于S1、S3、S4, 这是因为S2相比于S1, 其有机质含量更高、污泥活性更强^[7], 且在相同污泥浓度

下,起作用的微生物总量尤其是硝化菌群的数量多,因此对氨氮的去除效果更优;另外,由于硝化菌群世代周期长,且硝化菌群需要附着在泥龄较长且成熟的活性污泥絮体上才能更好地富集在生化系统中,从而更好地发挥硝化作用,而沉降性较差的活性污泥 S3 往往是由形成初期的活性污泥絮体和老化的、散掉的絮体组成,其上附着的硝化菌群数量有限,活性不足^[8]。因此,这可能是导致沉降性较差的污泥 S3 对氨氮去除效果比 S2 差的主要原因。S4 中因为存在 S1 和 S3,所以其对氨氮的去除效果不如 S2。

2.3 不同径向分布活性污泥对总磷去除率的影响

在运行方式二条件下,不同沉降性的活性污泥对总磷的去除效果如图 4 所示。厌氧搅拌阶段的 DO 为 0.2 mg/L,1#~4#反应器中 TP 浓度随时间均逐渐上升;好氧曝气阶段,各反应器中 TP 浓度均为先快速下降后缓慢下降,各组对 TP 去除速率的排序为 S2>S4>S3>S1。TP 浓度降至 3.5 mg/L 所需时间的排序为 S2(约 8 h)<S4(约 10 h)<S3(约 12 h)<S1(约 14 h)。相比于 S4、S3、S1,S2 的 TP 去除速率分别提升 20.0%、33.3%、42.6%。

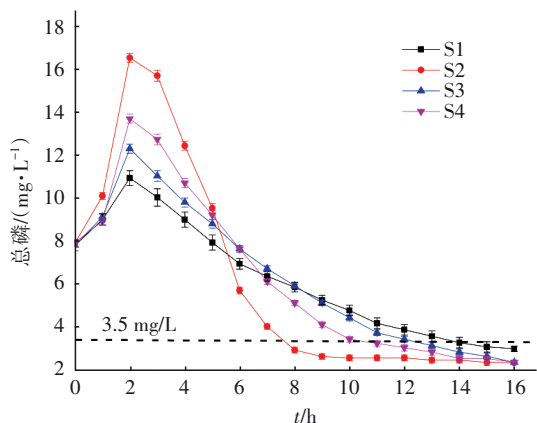


图 4 S1~S4 对总磷的去除效果

Fig.4 Removal effect of TP from S1 to S4

由此可见,沉降性适中的污泥 S2 对总磷的去除效果优于 S1、S3、S4,由于 S1 的有机质含量低,导致污泥活性不足,因此除磷效果较差^[8];另外,由于聚磷菌所需泥龄一般为 3.5~7 d,且更容易在沉降性较好的污泥中富集^[9],因此这有可能是导致沉降性较差的污泥 S3 对总磷的去除效果比 S2 差的主要原因。S4 中因为存在 S1 和 S3,所以其对总磷的去除效果不如 S2。

2.4 不同径向分布活性污泥对总氮去除率的影响

由于污水处理厂大部分反硝化细菌均为异养型,而进水中碳源在前段生化过程中消耗量较大,因此在运行方式二的基础上投加碳源,即采用运行方式三来评价活性污泥的反硝化性能。辐流式二沉池不同沉降性的活性污泥对总氮的去除效果如图 5 所示。可知,1#~4#反应器中 TN 浓度随时间均逐渐下降,S2 对 TN 的去除速率优于 S1、S3、S4。TN 浓度降至 12 mg/L 所需时间的排序为 S2(约 4 h)<S4(约 5.7 h)<S1(约 6 h)<S3(约 7 h)。相比于 S3、S4、S1,S2 的 TN 去除速率分别提升 29.8%、33.3%、42.9%。

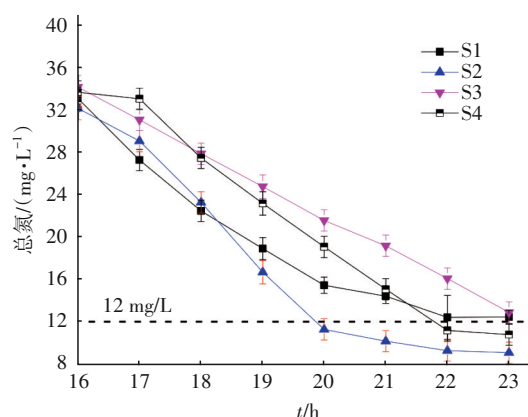


图 5 S1~S4 对总氮的去除效果

Fig.5 Removal effect of TN from S1 to S4

由此可见,沉降性适中的污泥 S2 对总氮的去除效果优于 S1、S3、S4,由于 S1 中有机质含量低,导致污泥活性不足,因此脱氮效果较差^[7]。另外,由于反硝化细菌更容易在沉降性较好的污泥中富集,且反硝化细菌所需泥龄较长,因此这有可能是导致沉降性较差的污泥 S3 对 TN 去除效果比 S2 差的主要原因。S4 中因为存在 S1 和 S3,所以其对总氮的去除效果不如 S2。

2.5 不同径向分布活性污泥对出水 SS 的影响

装置采用方式一运行结束后,取 200 mL 样品静置 30 min,取各组上清液测 SS。S1~S4 反应器出水 SS 分别为 18、14、24、20 mg/L,S2 反应器出水 SS 最低,相对于 S1、S3、S4,分别降低约 22%、41.7%、30%。活性污泥中一般存在较多的胞外聚合物(EPS),使其具有絮凝沉降能力,同时沉降速度也影响其网捕和卷扫能力,污泥沉降性过快则其网捕和卷扫的能力会减弱,这可能是 S1 出水 SS 高于 S2 的

原因之一。由于S3污泥的絮体松散,丝状菌较多,污泥沉降性及絮凝沉降能力相对其他组弱,导致出水SS较高。微生物等通过摄取污水中的悬浮物和有利细菌以及分泌黏性物质促进絮凝,可以降低出水SS浓度,提高澄清度,而S2活性污泥中絮体形态稳固,絮凝沉降性能较好,同时微生物数量较多,这可能是S2出水SS较其他组有明显降低的主要原因。

3 结论

二沉池污泥沿着其内径由内向外沉降性逐渐降低,有机质含量逐渐升高。二沉池径向中部沉降性适中的活性污泥具有较强的脱氮除磷和絮凝沉降能力,对降低出水SS具有良好的效果,可考虑收集回流此类污泥。而二沉池径向进水端的污泥无机质含量较大,出水端的污泥有机质含量较大,可作为剩余污泥排放处置,这有助于污泥的综合利用。

参考文献:

- [1] 刘流, 李军. 城镇自来水厂污泥和污水处理厂污泥联合处理处置[J]. 净水技术, 2015, 34(S1): 20-22.
LIU Liu, LI Jun. Combined treatment and disposal of sludge from municipal water treatment plant and wastewater treatment plant [J]. Water Purification Technology, 2015, 34(S1): 20-22(in Chinese).
- [2] 严爱兰, 李军, 马挺, 等. 自来水厂与污水厂污泥联合处理处置研究及应用进展[J]. 中国给水排水, 2018, 34(6): 30-34.
YAN Ailan, LI Jun, MA Ting, et al. Research and application progress of sludge treatment and disposal in waterworks and wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(6): 30-34(in Chinese).
- [3] QU J H, WANG H C, WANG K J, et al. Municipal wastewater treatment in China: development history and future perspectives [J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2019, 13(6): 1-7.
- [4] 李振亮, 张代钧, 卢培利, 等. 活性污泥絮体粒径分布与分形维数的影响因素[J]. 环境科学, 2013, 34(10): 3975-3980.
LI Zhenliang, ZHANG Daijun, LU Peili, et al. Influencing factors of floc size distribution and fractal dimension of activated sludge [J]. Environmental Science, 2013, 34(10): 3975-3980(in Chinese).
- [5] 吴越, 赵传峰, 孙法文, 等. 双区沉淀池用于连续流好氧颗粒污泥工艺的可行性[J]. 中国给水排水, 2020, 36(19): 9-15.
WU Yue, ZHAO Chuanfeng, SUN Fawen, et al. Feasibility of aerobic granular sludge formation in continuous flow reactor based on two-zone sedimentation tank [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(19): 9-15(in Chinese).
- [6] 王亚宜, 彭永臻, 殷芳芳, 等. 双污泥SBR工艺反硝化除磷脱氮特性及影响因素[J]. 环境科学, 2008, 29(6): 1526-1532.
WANG Yayi, PENG Yongzhen, YIN Fangfang, et al. Characteristics and affecting factors of denitrifying phosphorus removal in two-sludge sequencing batch reactor [J]. Environmental Science, 2008, 29(6): 1526-1532(in Chinese).
- [7] 赵凯亮, 刘安迪, 南彦斌, 等. HRT对改良式A²O-BAF反硝化除磷脱氮的影响[J]. 环境科学, 2020, 41(6): 2771-2778.
ZHAO Kailiang, LIU Andi, NAN Yanbin, et al. Effect of HRT on denitrifying phosphorus and nitrogen removal in modified A²O-BAF [J]. Environmental Science, 2020, 41(6): 2771-2778(in Chinese).
- [8] 谭杰, 董滨, 戴晓虎. 温度对生物膜-活性污泥复合工艺硝化特性及硝化菌种群的影响[J]. 净水技术, 2016, 35(2): 21-25.
TAN Jie, DONG Bin, DAI Xiaohu. Influence of temperature on nitrification characteristics and nitrifying bacteria community in integrated fixed film-activated sludge process [J]. Water Purification Technology, 2016, 35(2): 21-25(in Chinese).
- [9] 刘旭, 王继华, 车琦, 等. AOA-SBR系统运行效能及高效聚磷菌的特性研究[J]. 环境科学研究, 2019, 32(8): 1427-1436.
LIU Xu, WANG Jihua, CHE Qi, et al. Operational efficiency of an AOA-SBR system and the characteristics of high-efficiency phosphorus-accumulating bacteria [J]. Research of Environmental Sciences, 2019, 32(8): 1427-1436(in Chinese).

作者简介: 刘流(1988-), 男, 湖北荆州人, 硕士, 工程师, 主要从事给排水工程设计工作。

E-mail: liu.liu.long@163.com

收稿日期: 2021-04-11

修回日期: 2021-09-22

(编辑: 任莹莹)