

李航,董立春,方建飞,等.初沉池优化运行对改良型 A²/O 工艺脱氮除磷的影响[J].环境工程技术学报,2021,11(6):1189-1195.

LI H, DONG L C, FANG J F, et al. Effect of optimizing operation of primary sedimentation tank on nitrogen and phosphorus removal of modified A²/O process[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2021, 11(6): 1189-1195.

初沉池优化运行对改良型 A²/O 工艺脱氮除磷的影响

李航^{1,2}, 董立春^{1*}, 方建飞², 丁力², 吕利平³

1. 重庆大学化学化工学院

2. 重庆市三峡水务有限责任公司

3. 长江师范学院化学化工学院

摘要 采用改良型 A²/O 工艺处理城市污水,设置 6 种工况,即原水进入初沉池与超越初沉池直接进入生物池流量分配比分别为 10:0、8:2、6:4、4:6、2:8、0:10,在具体工程实例中考察初沉池优化运行对脱氮除磷效果的影响。结果表明:初沉池的优化运行对出水总氮浓度和生物除磷率具有显著影响,而对出水氨氮浓度影响较小。工艺中存在反硝化除磷现象,且反硝化除磷率与原水超越初沉池直接进入生物池流量分配比呈正相关。基于 6 种工况,较为优化的原水进入初沉池与超越初沉池直接进入生物池流量分配比为 6:4。该工况后期出水总氮平均浓度为 8.79 mg/L,较原工况降低了 33.9%,氨氮浓度低于 0.5 mg/L,好氧区总磷平均浓度为 0.34 mg/L,满足 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 排放标准;电耗为 0.337 kW·h/m³,仅比原工况上涨了 5.31%,涨幅较小。相比于原工况,虽然电耗出现了轻微上涨,但出水水质可控性得到了进一步强化,且显著优于一级 A 排放标准。

关键词 初沉池;流量分配比;改良型 A²/O 工艺;脱氮除磷;反硝化除磷;电耗

中图分类号:X703 文章编号:1674-991X(2021)06-1189-07 doi:10.12153/j.issn.1674-991X.20210038

Effect of optimizing operation of primary sedimentation tank on nitrogen and phosphorus removal of modified A²/O process

LI Hang^{1,2}, DONG Lichun^{1*}, FANG Jianfei², DING Li², LÜ Liping³

1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Chongqing University

2. Chongqing Three Gorges Water Co., Ltd.

3. School of Chemistry and Chemical Engineering, Yangtze Normal University

Abstract The modified A²/O process was used to treat urban sewage, and the effect of optimized operation of primary sedimentation tank (PST) on nitrogen and phosphorus removal were investigated in the specific engineering example. Six different operation conditions were adopted in the test, namely, the flow distribution ratio of raw water entering PST to that directly entering the biological tank stepping over PST were 10:0, 8:2, 6:4, 4:6, 2:8 and 0:10, respectively. The results showed that the optimized operation of PST had significant influence on the concentration of total nitrogen in the effluent and the efficiency of biological phosphorus removal, but had little influence on the ammonia nitrogen concentration. The phenomenon of denitrifying phosphorus removal existed in the experimental process, and the denitrifying phosphorus removal rate was positively related to the flow distribution ratio of raw water stepping over PGT directly entering the biological tank. Among the six different conditions, the more optimal flow distribution ratio of raw water entering PST to that directly entering the biological tank stepping over PST was 6:4. In the later stage of this condition, the average concentration of total nitrogen in the effluent was

收稿日期:2021-02-08

基金项目:重庆市教委科学技术研究计划青年项目(KJQN201901429)

作者简介:李航(1986—),男,工程师,博士,研究方向为水处理理论与技术,lihng0213@163.com

* 责任作者:董立春(1972—),男,教授,博士,主要从事环境污染治理技术研究,ledong72@cqu.edu.cn

8.79 mg/L, which was 33.9% lower than the original condition; the concentration of ammonia nitrogen was lower than 0.50 mg/L, and the average concentration of total phosphorus in aerobic area was 0.34 mg/L, which met the first level A standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002); the power consumption was 0.337 kW·h/m³, which was only 5.31% higher than the original operation condition, with a small increase. Compared with the original condition, although the power consumption slightly increased, the controllability of the effluent water quality was further strengthened, and it was significantly better than the discharge standard of the first level A.

Key words primary sedimentation tank; flow distribution ratio; modified A²/O process; nitrogen and phosphorus removal; denitrifying phosphorus removal; power consumption

随着“绿水青山就是金山银山”生态环境保护发展理念的提出,全社会对生态环境质量提出了更高的要求,而污水处理作为环境质量改善的重要举措,其目的也已从单一的满足排放现状较为排放标准升级,其中,氮、磷等营养元素的去除是影响标准升级的一大障碍。为此,全国范围内掀起了提标改造的热潮,但大部分污水处理厂经提标改造后,仍存在氮、磷等指标高位运行的问题,其主要原因是生物池进水 C/N 偏低。20 世纪 90 年代以来,新建的大部分污水处理厂在预处理段几乎都设置了初沉池,其主要目的是通过重力沉降作用尽可能去除原水中的颗粒污染物,以减轻后续生物处理单元的运行负荷。但在颗粒污染物沉降去除的同时,附着的大量有机碳源被同步去除,使得厌氧释磷与反硝化脱氮均缺乏足够的碳源,从而导致生物脱氮除磷效率不高^[1-3]。

当前,针对脱氮除磷所需碳源不足的问题^[4-5],普遍做法是通过外加碳源的方式来实现氮、磷的深度去除^[6-9],但高昂的外加碳源费用在一定程度上抬高了污水处理成本,导致该方法难以规模化推广应用。黄庆涛等^[10]针对低 C/N 城市污水开展了外加碳源强化脱氮除磷研究,发现当乙酸钠投加量为 60 mg/L 时,对磷酸盐的去除率较未投加乙酸钠提高了 18%,而出水总氮浓度降低了 16.9%。顾学林^[11]针对因进水 C/N 不足而导致的总氮不能稳定达标的问题,通过采取外加碳源的方式将进水 C/N 提升至 5.8 以上,成功将出水总氮浓度稳定在 12 mg/L 以内,去除率显著提升至 64% 以上。可以看出,采取外加碳源的方式的确可以强化出水氮、磷指标的可控性,但外加碳源所带来的高昂运行成本却是实际生产运行中一个无法回避的问题。

初沉池优化运行是指将原水部分或全部超越初沉池,充分利用原水中的碳源进行厌氧释磷与反硝化脱氮,从而达到仅依靠进水碳源实现氮、磷稳定去

除的目的。但在实际生产运行中,如何对初沉池的运行进行合理优化,以实现水质与效益的双赢,成为困扰工程技术人员的一大难题。

在改良型 A²/O 工艺基础上,针对脱氮除磷对碳源依赖性较高的实际情况^[12-13],笔者在具体工程实例中探讨了初沉池优化运行对脱氮除磷效果的影响,以期对初沉池在污水处理厂运行中的优化控制提供案例支撑。

1 材料与方 法

1.1 污水处理厂概况

重庆市某污水处理厂设计规模为 3×10⁴ m³/d,采用改良型 A²/O+滤布滤池工艺,工程占地 1.83×10⁴ m²,总投资约 1.34 亿元,其具体工艺流程如图 1 所示。

1.2 试验水质

试验期间进水水质如图 2 所示,该工程出水水质执行 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准。

1.3 试验背景

该工程自建成投运以来,出水总氮常年在 12.0~14.0 mg/L,快超过一级 A 标准浓度限值,存在严重的水质风险。为增强指标的可控性,该工程采取了外加碳源的方式来强化生物脱氮除磷,但高昂的碳源投加费用大大提升了运行成本,使得其工艺控制模式难以复制与推广。

1.4 设计参数与试验安排

对改良型 A²/O 工艺中原水进入初沉池与超越初沉池直接进入生物池流量分配比进行研究,其中初沉池与生物池设计参数如表 1 所示。根据工艺需要,稳定外回流比为 60%~80%,内回流比为 250%~300%,MLVSS/MLSS 为 0.481~0.515。调整原水进入初沉池与超越初沉池直接进入生物池的流量分配比,分别为:工况 I,10:0;工况 II,8:2;工况 III,6:4;工

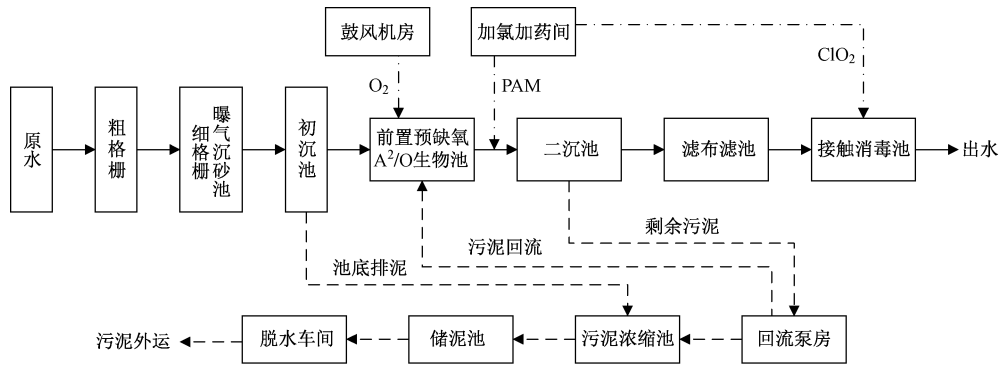


图 1 污水处理工艺流程

Fig.1 Process flow chart of sewage treatment

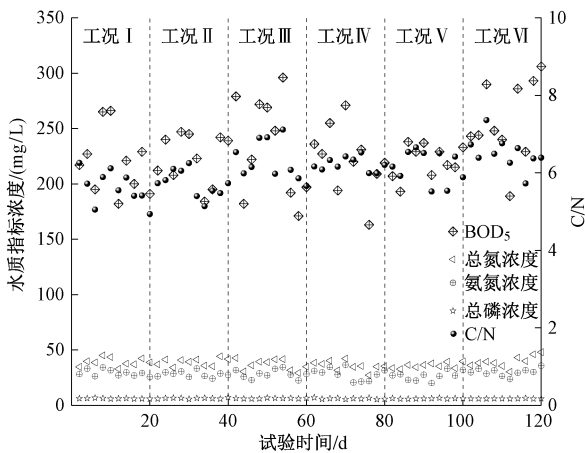


图 2 试验期间进水水质

Fig.2 Raw water quality during the test period

况Ⅳ,4:6;工况Ⅴ,2:8;工况Ⅵ,0:10。以此探讨初沉池优化运行对改良型 A²/O 工艺脱氮除磷效果的影响。

2 结果与讨论

2.1 不同工况对总氮去除效果的影响

试验期间,原水进入初沉池与超越初沉池直接进入生物池的不同流量分配比工况下,改良型 A²/O 工艺对总氮的去除情况如图 3 所示。

从图 3 可以看出,6 种工况下进水总氮浓度总体较为稳定,但出水总氮平均浓度分别为 13.3、12.3、9.84、8.25、6.98、6.63 mg/L,下降趋势明显。从工况 I ~ 工况 III,随着原水进入初沉池流量分配比逐渐减小,出水总氮浓度由快要超过一级 A 标准浓度限值逐步降至 8.79 mg/L,降幅达 33.9%;从工况 IV 开始,随着原水超越初沉池直接进入生物池流量分配比的进一步增大,出水总氮浓度继续呈下降趋势,并最终稳定于一级 A 标准浓度限值的 45% 以内;而其平均去除率也由工况 I 下的 65.6% 稳步升至工况 VI 下的 82.9%,提高了 17.3 个百分点。

表 1 初沉池与生物池设计参数

Table 1 Design parameters of primary sedimentation tank and biological tank

初沉池	水力停留时间/h				污泥龄/d	好氧区溶解氧浓度/(mg/L)		
	生物池					前端	中端	末端
	预缺氧区	厌氧区	缺氧区	好氧区				
2.30	0.30	1.15	4.00	10.00	12	<0.5	0.8~1.2	1.5~2.0

究其原因,主要是随着原水超越初沉池直接进入生物池流量分配比的增大,进入生物池参与反硝化脱氮的有机碳源逐渐增多,反硝化所需能量及电子供体充足,反应强度逐渐增大,脱氮率呈稳步上升趋势。这一解释从图 4 初沉池优化运行对初沉池出水和生物池进水 BOD₅ 的影响可以看出。

试验工况下,初沉池对原水中 BOD₅ 的去除率呈上升趋势,由工况 I 下的 20.6% 逐步上升至工况 V 下的 26.9%,这主要是初沉池进水流量分配比的

变化对水力停留时间的影响所致。随着初沉池进水流量分配比的减小,原水在初沉池中的停留时间逐渐延长,造成更多有机碳源被沉降去除,但随着超越初沉池直接进入生物池流量分配比的增大,大量有机碳源避免了被初沉池沉降去除,相比较而言,超越初沉池直接进入生物池给反硝化反应引入的有机碳源更多,更有利于生物脱氮的进行。图 5 中初沉池优化运行对生物池进水 C/N 和缺氧区出水硝态氮的影响也印证了这一观点,随着超越初沉池直接进

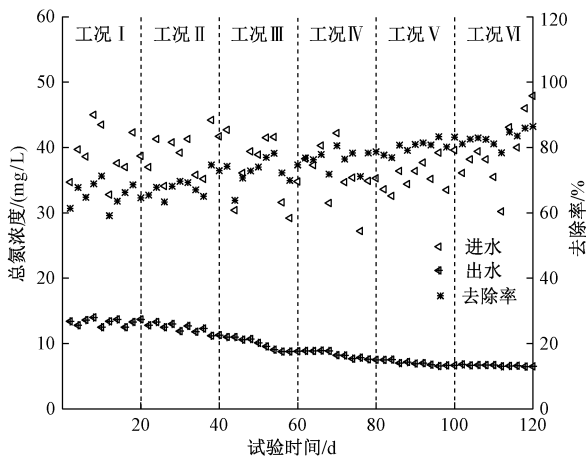


图 3 试验工况对总氮去除率的影响
Fig.3 Effect of test conditions on removal rate of total nitrogen

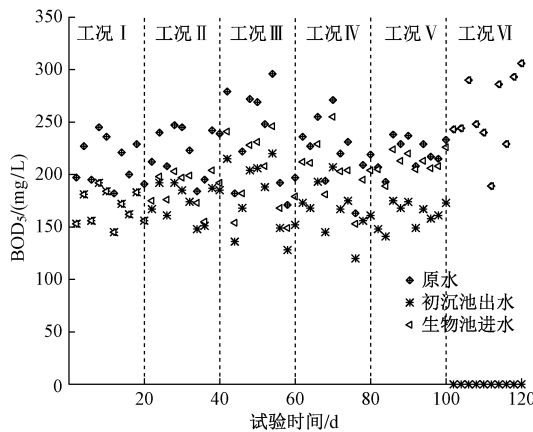


图 4 试验工况对初沉池和生物池 BOD₅ 的影响
Fig.4 Effect of test conditions on BOD₅ of primary sedimentation tank and biological tank

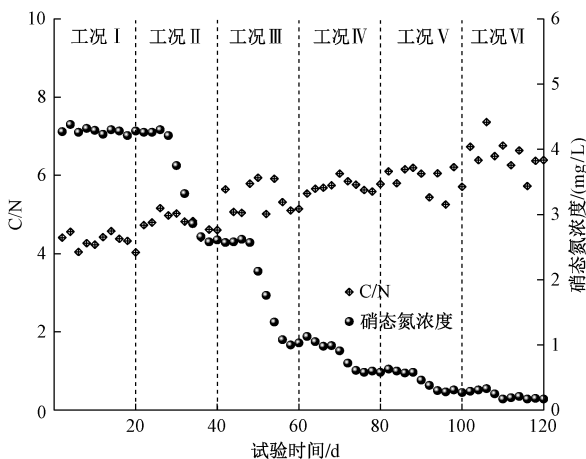


图 5 试验工况对生物池进水 C/N 和缺氧区出水硝态氮浓度的影响

Fig.5 Effect of test conditions on C/N of biological tank and nitrate nitrogen of anoxic zone

入生物池流量分配比的增大,生物池进水 C/N 呈显著上升趋势,其平均值由工况 I 下的 4.32 逐渐升至工况 VI 下的 6.51,涨幅达 50.7%。相反,缺氧区出水硝态氮浓度呈明显下降趋势,其平均值由工况 I 下的 4.28 mg/L 逐渐降至工况 VI 下的 0.23 mg/L,降幅达 94.6%。

2.2 不同工况对氨氮去除效果的影响

试验期间,原水进入初沉池与超越初沉池直接进入生物池的不同流量分配比工况下,改良型 A²/O 工艺对氨氮的去除情况如图 6 所示。

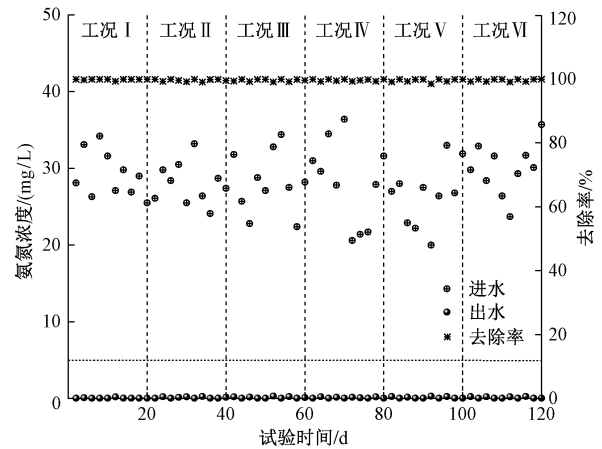


图 6 试验工况对氨氮去除率的影响
Fig.6 Effect of test conditions on removal rate of ammonia nitrogen

从图 6 可以看出,6 种工况下,出水氨氮浓度稳定较强,总体维持在 0.5 mg/L 以内,说明初沉池运行工况的变化对出水氨氮浓度影响较小。究其原因,主要是氨氮的去除集中在好氧阶段,虽然初沉池运行工况的改变会对生物池有机物浓度产生影响,但只要好氧阶段硝化反应进展顺利,溶解氧浓度水平足够满足氨态氮向亚硝态氮、硝态氮的转化,出水氨氮浓度将不会受到影响。试验期间,氨氮平均去除率均维持在 99% 以上。

2.3 不同工况对总磷去除效果的影响

试验期间,原水进入初沉池与超越初沉池直接进入生物池的不同流量分配比工况下,总磷浓度的沿程变化及生物除磷率如图 7 所示。

从图 7 可以看出,6 种工况下随着原水超越初沉池直接进入生物池流量分配比的增大,厌氧区总磷浓度总体呈上升趋势。在工况 I 和工况 II 下,厌氧区总磷平均浓度较低,分别为 5.30 和 5.76 mg/L,这主要是由于工况 I 和工况 II 下,大量原水经初沉池重力沉降后再进入生物池,使得原水中大部分有机

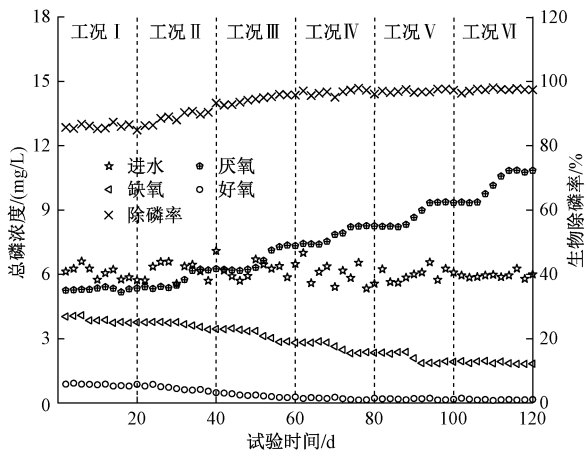


图 7 总磷浓度的沿程变化及生物除磷率

Fig.7 Variations of total phosphorus concentration along the process flow and biological phosphorus removal rate

物在初沉池便被附带沉降去除,厌氧区因有机碳源不足而出现释磷不充分现象,从而导致上述工况下厌氧区总磷浓度较低;在工况 III 下,厌氧区总磷浓度呈现急剧上升趋势,到工况 III 后期,平均浓度达 7.32 mg/L,较工况 I 上涨了 38.1%;从工况 IV ~ 工况 VI,厌氧区总磷平均浓度继续上涨,但上涨趋势逐渐放缓。这主要是由于随着初沉池进水流量分配比的逐渐减小,有更多的有机物直接进入生物池参与生化反应,厌氧释磷表现出强大的动力,使得厌氧区总磷浓度上升明显。

从图 7 还可以看出,各工况下缺氧区总磷浓度较厌氧区低,且从工况 I ~ 工况 VI,缺氧区总磷浓度呈逐渐下降趋势。究其原因,是缺氧区发生了反硝化除磷现象^[14-15]。反硝化除磷菌以在厌氧区高有机物浓度水平下合成的聚羟基脂肪酸 (polyhydroxyalkanoate, PHA) 为电子供体,以内回流提供的 NO₃-N 为电子受体,同步完成吸磷与反硝化脱氮^[16]。虽然该吸磷过程包含了传统好氧吸磷与反硝化除磷 2 条路径,但由于该工程在好氧区末端至缺氧区间增设了脱氧区,使得进入缺氧区的内回流硝化液溶解氧浓度极低,传统好氧吸磷几乎可忽略不计,反硝化除磷占据主导地位。从工况 I ~ 工况 VI,各工况下反硝化除磷率分别为 36.0%、41.3%、48.5%、56.7%、65.0%、68.4%。在整个试验期间内回流比与溶解氧浓度相对恒定的情况下,各工况缺氧区除磷率却呈明显上升趋势,说明随着初沉池进水流量分配比的减小,超越初沉池直接进入生物池流量分配比的增大,反硝化除磷率呈上升趋势。

好氧区总磷浓度水平体现了生物除磷率的高低。6 种工况下,好氧区总磷平均浓度分别为 0.85、0.67、0.34、0.20、0.18、0.16 mg/L,呈明显下降趋势,其生物除磷率由工况 I 的 85.9% 升至工况 VI 的 97.3%,增幅达 11.4%。究其原因,随着原水超越初沉池直接进入生物池流量分配比的增大,进入厌氧区有机物浓度逐渐升高,而聚磷菌 (PAOs) 的厌氧释磷以及聚-β-羟丁酸 (poly-β-hydroxybutyrate, PHB) 的同化作用随着厌氧区有机物浓度的升高得到了强化,这为好氧区的吸磷反应创造了良好先决条件。

2.4 污泥浓度与电耗分析

污水处理厂属高电耗企业。据统计,其电耗成本一般占运行成本的比例达 30% ~ 60%,而其中用于好氧区的供氧电耗成本占总电耗成本的比例更是高达 50% ~ 70%^[17]。电耗的高低与生物池中污泥浓度和有机物浓度水平直接相关。当污泥浓度与有机物浓度较低时,微生物数量较少,其代谢活性较弱,电耗较低;当污泥浓度与有机物浓度较高时,微生物数量较多,其代谢活性较强,电耗较高。试验期间系统污泥浓度如图 8 所示,电耗情况如图 9 所示。

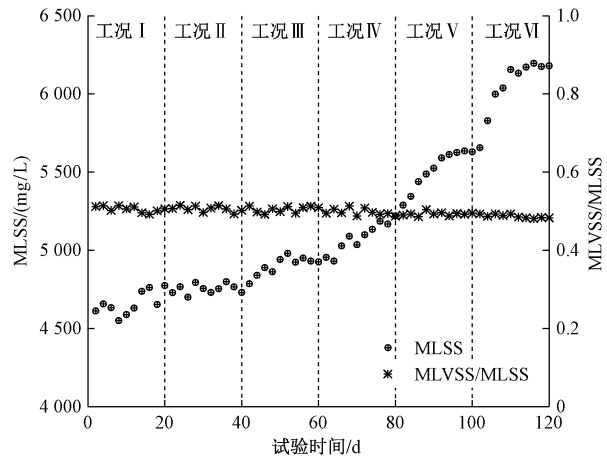


图 8 试验工况对污泥浓度的影响

Fig.8 Effect of test conditions on sludge concentration

从图 8 和图 9 可以看出,随着原水超越初沉池直接进入生物池流量分配比的逐渐增大,系统污泥浓度与电耗均呈明显上升趋势。为保证整个试验期间工艺运行稳定,随着工况的变化,需不断提高系统污泥浓度,以确保 MLVSS/MLSS 相对平稳。6 种工况下平均污泥浓度分别为 4 660、4 752、4 903、5 085、5 518、6 053 mg/L,从工况 II 开始,各工况下污泥浓度分别较前一工况上涨了 1.97%、3.18%、3.71%、8.52%、9.70%,涨幅逐渐增大;整个试验期间,MLVSS/MLVV 总体维持为 0.5 左右。从工况 I ~

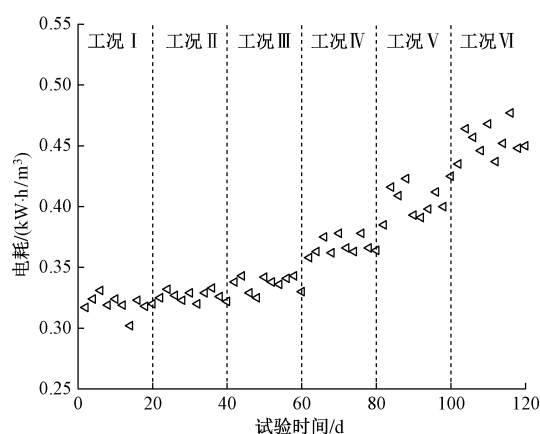


图 9 试验工况对电耗的影响

Fig.9 Effect of test conditions on power consumption

工况 III, 平均电耗分别为 0.320、0.327、0.337 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$, 分别较前一工况上涨了 2.19% 和 3.06%, 涨幅较小; 但从工况 IV 开始, 平均电耗分别为 0.367、0.405、0.453 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$, 分别较前一工况上涨了 8.90%、10.4%、11.9%, 涨幅较工况 I ~ 工况 III 明显增大。说明原水超越初沉池直接进入生物池流量分配比进一步增大后, 由于系统污泥浓度和有机物浓度的增加, 会显著提升污水处理厂电耗。

3 结论

(1) 原水进入初沉池与超越初沉池直接进入生物池流量分配比对出水总氮浓度和生物除磷率具有显著影响, 而对出水氨氮浓度影响较小。

(2) 改良型 A^2/O 工艺中存在反硝化除磷现象, 且反硝化除磷率与原水超越初沉池直接进入生物池流量分配比呈正相关。

(3) 基于 6 种工况, 较为优化的原水进入初沉池与超越初沉池直接进入生物池流量分配比为 6:4。该工况后期出水总氮平均浓度为 8.79 mg/L , 较原工况降低了 33.9%, 氨氮浓度低于 0.5 mg/L , 好氧区总磷平均浓度为 0.34 mg/L , 满足一级 A 排放标准, 电耗为 0.337 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$, 仅比原工况上涨了 5.31%, 涨幅较小。相比于原工况而言, 虽然电耗出现了轻微上涨, 但出水水质可控性得到了进一步强化, 且显著优于一级 A 排放标准。

参考文献

[1] HE Q L, SONG Q, ZHANG S L, et al. Simultaneous nitrification, denitrification and phosphorus removal in an aerobic granular sequencing batch reactor with mixed carbon sources: reactor performance, extracellular polymeric substances and microbial successions[J]. Chemical Engineering Journal, 2018, 331: 841-849.

[2] 郭晓娅, 年跃刚, 闫海红, 等. 以玉米淀粉废水为反硝化碳源的污染物降解特征与微生物群落结构研究[J]. 环境工程技术学报, 2016, 6(5): 427-433.

GUO X Y, NIAN Y G, YAN H H, et al. Pollutants degradation characteristics and microbial community structure using cornstarch wastewater as denitrification carbon source [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2016, 6(5): 427-433.

[3] 赵蓉, 郑涛, 孙晨, 等. 沈阳得利满 AO 工艺升级为改良 A^2/O 工艺的可行性研究[J]. 环境工程技术学报, 2016, 6(6): 547-552.

ZHAO R, ZHENG T, SUN C, et al. Feasibility study on modified A^2/O process to upgrade and reconstruct Shenyang degremont anoxic oxic process [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2016, 6(6): 547-552.

[4] BU F, HU X, XIE L, et al. Cassava stillage and its anaerobic fermentation liquid as external carbon sources in biological nutrient removal [J]. Journal of Zhejiang University: Science B, 2015, 16(4): 304-316.

[5] XIE J Y, GUO Y, LI Y F. The role of external carbon sources at each stage of an A^2/O process for simultaneously removing nitrogen and phosphorus [J]. Environmental Progress & Sustainable Energy, 2018, 37(6): 2010-2015.

[6] 常洋, 王彤, 王海燕, 等. 芦苇碳源-表面流人工湿地对农田退水脱氮的长期效能研究[J]. 环境工程技术学报, 2016, 6(5): 453-461.

CHANG Y, WANG T, WANG H Y, et al. The long-term nitrogen removal efficiency from agricultural runoff in phragmites australis packed surface flow constructed wetland [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2016, 6(5): 453-461.

[7] 马玉霞, 谭蕾蕾, 沈志强, 等. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 预处理的秸秆作为固体碳源的反硝化性能[J]. 环境工程技术学报, 2017, 7(2): 46-52.

MA Y X, TAN L L, SHEN Z Q, et al. Study on denitrification performance using calcium hydroxide pretreated straw as solid carbon source [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2017, 7(2): 46-52.

[8] 李易寰, 奚蕾蕾, 钟奕杰, 等. 倒置 A^2/O 工艺运行效果及优化控制方案[J]. 环境工程, 2020, 38(3): 76-81.

LI Y H, XI L L, ZHONG Y J, et al. Operation effect and control scheme optimization of an inverted A^2/O process [J]. Environmental Engineering, 2020, 38(3): 76-81.

[9] HU X, SOBOTKA D, CZERWIONKA K, et al. Effects of different external carbon sources and electron acceptors on interactions between denitrification and phosphorus removal in biological nutrient removal processes [J]. Journal of Zhejiang University: Science B, 2018, 19(4): 305-316.

[10] 黄庆涛, 宋秀兰. 外加碳源对 AOA-SBR 工艺脱氮除磷效果的影响[J]. 工业水处理, 2017, 37(9): 26-29.

HUANG Q T, SONG X L. Influences of extra carbon sources on the removal of nitrogen and phosphate by AOA-SBR process [J]. Industrial Water Treatment, 2017, 37(9): 26-29.

[11] 顾学林. 低 C/N 值污水处理的总氮达标研究[J]. 中国给水排水, 2019, 35(9): 96-99.

GU X L. Discharge standard achievement of TN in treatment of

- sewage with low C/N ratio[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(9):96-99.
- [12] WU C Y, PENG Y Z, LI X L, et al. Effect of carbon source on biological nitrogen and phosphorus removal in an anaerobic-anoxic-oxic (A²O) process [J]. Journal of Environmental Engineering, 2010, 136(11):1248-1254.
- [13] JOHN K D, ZHANG H, LI Y F. The external carbon source to each stages of A²/O process for simultaneously nitrogen and phosphorus removal[J]. Journal of Agriculture and Environmental Sciences, 2019, 8(1):140-153.
- [14] 杨杰, 李冬, 罗亚红, 等. SBR 后置缺氧反硝化除磷的启动及去除性能[J]. 中国环境科学, 2016, 36(5):1376-1383.
- YANG J, LI D, LUO Y H, et al. The start-up and performance of denitrifying phosphorus removal process in a post-anoxic SBR system[J]. China Environmental Science, 2016, 36(5):1376-1383.
- [15] WISNIEWSKI K, KOWALSKI M, MAKINIA J. Modeling nitrous oxide production by a denitrifying-enhanced biologically phosphorus removing (EBPR) activated sludge in the presence of different carbon sources and electron acceptors [J]. Water Research, 2018, 142:55-64.
- [16] PANSWAD T, TONGKHAMMAK N, ANOTAI J. Estimation of intracellular phosphorus content of phosphorus-accumulating organisms at different P: COD feeding ratios [J]. Journal of Environmental Management, 2007, 84(2):141-145.
- [17] 楚想想, 罗丽, 王晓昌, 等. 我国城镇污水处理厂的能耗现状分析[J]. 中国给水排水, 2018, 34(7):70-74.
- CHU X X, LUO L, WANG X C, et al. Analysis on current energy consumption of wastewater treatment plants in China [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(7):70-74. □

欢迎订阅2022年《环境工程技术学报》

《环境工程技术学报》是由中华人民共和国生态环境部主管, 中国环境科学研究院主办的综合性学术期刊, 北大中文核心期刊, 中国科技核心期刊, 中国科学引文数据库 (CSCD 扩展库) 来源期刊。主要刊载国内外环境工程技术领域的最新研究成果, 报道环境工程及环保实用技术应用的典型案例, 关注环保产业政策和行业动态, 以及环境工程新技术、新成果的转化应用。本刊主要面向环境、生态、管理工程技术学领域的科研人员、技术研发人员、各级环保管理人员、环保企业经营者与生产者以及相关专业大专院校师生。

《环境工程技术学报》为双月刊, 大 16 开, 单月 20 日出版。每期定价 80 元, 全年 480 元。欢迎国内读者到当地邮局订阅, 邮发代号: 2-620; 中国国际图书贸易总公司承担本刊国外发行, 发行代号: 6338BM。如有漏订可直接与编辑部联系。

编辑部地址: 北京市朝阳区安外大羊坊 8 号 中国环境科学研究院

邮政编码: 100012

电话/传真: 010-84915126

网 址: www.hjgcjsxb.org.cn

电子邮箱: hjgcjsxb@vip.163.com