

基于污水厂监测数据的反硝化脱氮影响因素分析

司家济,张静,张辉,鲍韬

(中节能国祯环保节能科技股份有限公司,安徽 合肥 230088)

摘要:以污水厂长序列运行数据为基础,反推脱氮实际影响因素,开展反硝化脱氮试验。结果表明,在2019年4月前后TN出水平均浓度降低58%;受季节和污水厂升级改造影响,温度由15℃升高至25℃,混合液悬浮固体质量浓度(MLSS)由4300 mg/L增至8000 mg/L,活性污泥成分增加,脱氮效果提升;BOD₅/TN和pH值等变化相对稳定,温度、MLSS是影响该污水处理厂反硝化脱氮的主要因素;当反应温度为(25±5)℃,pH值为7.5±0.2,MLSS为4800 mg/L时,反硝化脱氮效果最佳,硝酸盐氮去除率达91%。

关键词:反硝化脱氮;影响因素;污水处理厂

中图分类号:X703

文献标志码:B

文章编号:1006-2009(2021)02-0056-04

Analysis on Influencing Factors of Denitrification based on Monitoring Data from Sewage Plant

SI Jia-ji, ZHANG Jing, ZHANG Hui, BAO Tao

(CECEP Guozhen Environmental Protection Technology Joint Stock Co., Ltd., Hefei, Anhui 230088, China)

Abstract: Based on the long-term operation data from a sewage plant, the actual influencing factors of denitrification were studied through denitrification experiments. The results showed that after treatment, the average concentration of total nitrogen in water decreased by 58% around April, 2019. Influenced by seasonal change and the upgrading and rebuilding of the sewage plant, the temperature increased from 15℃ to 25℃, mixed liquor suspended solids (MLSS) increased from 4300 mg/L to 8000 mg/L, the component of activated sludge and the effect of denitrification increased. The changes of BOD₅/TN and pH value were relatively stable. Temperature and MLSS were the main factors affecting denitrification. When the reaction temperature was (25±5)℃, pH value was 7.5±0.2, and MLSS was 4800 mg/L, the denitrification effect was the best, the removal rate of nitrate nitrogen reached 91%.

Key words: Denitrification; Influencing factor; Sewage plant

截至2019年,我国城市污水处理厂建成5000多座,污水处理能力达2.1亿m³/d,污水处理的排放标准也愈加严格。安徽省颁布了地方标准《巢湖流域城镇污水处理厂和工业行业主要水污染物排放限值》(DB 34/2710—2016)(以下简称《排放限值》),该标准要求流域内新建、扩建、改建的污水处理厂出水水质达到TP不高于0.3 mg/L、TN不高于10 mg/L、NH₃-N不高于2 mg/L、COD不高于40 mg/L,多数污水处理厂面临出水水质从一级A提标到地表水质Ⅳ类水质的要求。

反硝化脱氮的影响因素较多,如pH值可直接影响酶活性,若pH值超出微生物生活环境适应范

围,则会抑制微生物生长;反硝化细菌生存适宜温度为20℃~40℃,当温度下降至15℃时,反硝化细菌代谢能力受到严重影响^[1-5]。目前,国内外关于生物脱氮的研究较为成熟,李方舟等^[6]研究了低C/N值、低DO浓度下硝化耦合内碳源反硝化脱氮的影响;Wang等^[7]研究了高、低C/N值对生物脱氮的影响;张景炳等^[8]分析了碳源、DO和硝

收稿日期:2020-03-12;修订日期:2021-01-05

基金项目:安徽省重点研究与开发计划基金资助项目(1804a0802191)

作者简介:司家济(1994—),男,安徽合肥人,助理工程师,硕士,主要从事水污染控制研究。

态氮浓度对反硝化脱氮能力的影响。上述研究多以试验为主,未能结合污水厂实际运行情况。今针对污水厂升级改造后运行参数的改变,以合肥市某污水处理厂实际运行数据为基础(MLSS、C/N 值、pH 值、温度),确定反硝化脱氮的主要影响因素,通过运行结果的反馈,开展反硝化脱氮的试验研究,以期优化污水厂运营条件,提高脱氮效果。

1 工艺介绍

合肥市某污水处理厂核心处理工艺为倒伞表面曝气的卡鲁赛尔氧化沟工艺,卡鲁塞尔氧化沟系统是改良的氧化沟系统,设置了内部前置反硝化功能区。反硝化细菌利用污水中的有机物和硝酸盐进行反硝化,同时使用倒伞表面曝气,曝气机安装在沟的一端,曝气机附近形成下游的富氧区和上游的缺氧区,易于微生物絮凝、沉降,提高了传统氧化沟有限的脱氮效果。深度处理采用高效沉淀池+反硝化深床滤池+次氯酸钠消毒工艺,污泥处理方法为高干度脱水,其设计规模为 20 万 m³/d。为满足《排放限值》要求,污水厂进行升级改造,在氧化沟好氧区内增设固定床填料,以增加生物处理效果,工艺流程见图 1。

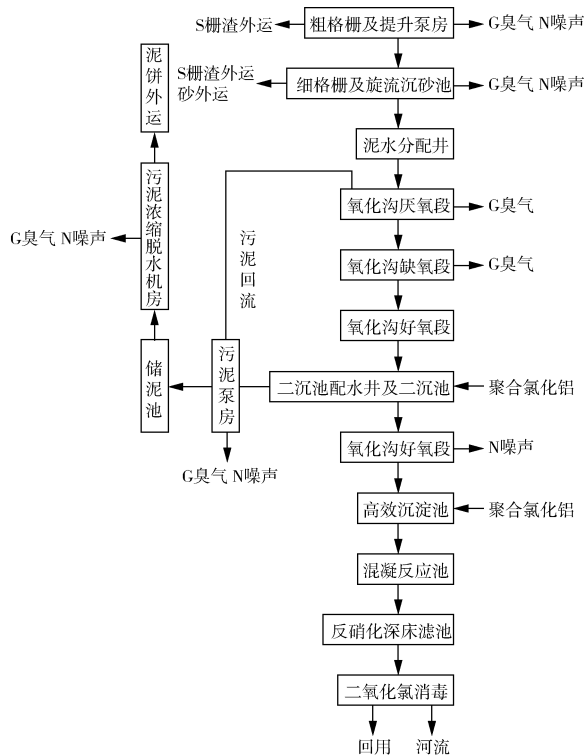


图 1 氧化沟工艺流程

Fig. 1 Process of oxidation ditch

2 污水处理厂运行数据分析

统计分析合肥市某污水处理厂 2017 年 12 月—2019 年 8 月进、出水 TN 质量浓度,见图 2。由图 2 可见,2017 年 12 月—2019 年 2 月出水 TN 为 5 mg/L~10 mg/L,2 月后呈现降低趋势,直到 4 月 TN 去除率保持稳定。2019 年 4 月前进水 TN 均值为 34.1 mg/L,出水 TN 均值为 7.08 mg/L;2019 年 4 月后进水 TN 均值为 42.3 mg/L,出水 TN 均值为 2.98 mg/L。由于污水处理厂升级改造,氧化沟好氧区内增设固定床填料,优化微生物生长环境,提高生物脱氮效果,在 2019 年 4 月前后 TN 出水平均质量浓度降低 58%,TN 出水水质优于国家一级 A 排放标准。

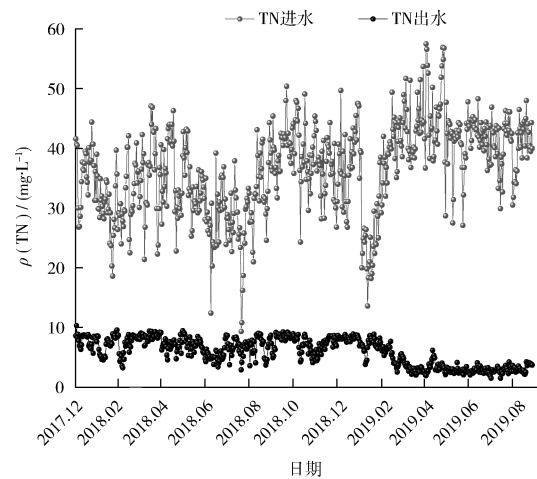


图 2 2017 年 12 月—2019 年 8 月 TN 变化情况

Fig. 2 Change of TN from December 2017 to August 2019

为探究脱氮效果提高的影响因素,统计分析 2017 年 12 月—2019 年 8 月进水 BOD₅/TN 值、生化池温度、MLSS 和 pH 值,运行参数数据统计见表 1。结果表明,BOD₅/TN 值变化稳定,数值保持在 3~4 范围内。一般认为,当污水 BOD₅/TN 值为 3~5 时,即可认为碳源充足,无须外加碳源即可达到生物脱氮的目的。pH 值变化范围为 7.2~7.5,平均值为 7.44,进水 pH 值呈现微上升趋势。由于微生物生长环境条件改善,碳源充足,使得微生物反硝化脱氮效果提高,产生了更多的 OH⁻,使得 pH 值出现微上升。2017 年 12 月—2019 年 8 月温度变化情况见图 3。由图 3 可见,温度受季节影响变化明显,2019 年 1、2 月水温降至 14℃,从 3 月开始水温逐渐上升,4 月水温上升至 20℃,直至 9

月为 25 ℃ 左右。反硝化细菌生存适宜温度为 20 ℃ ~ 40 ℃, 低于 15 ℃ 反硝化菌活性降低。结合 2019 年 4 月前后 TN 浓度的变化, 普遍存在低温影响 TN 出水效果的现象, 可见温度是影响脱氮的重要因素。在实际污水运营过程中, 曝气量控制、碳源投加多依据现场工作经验把控, 月变化系数小, 碳源投加次数少, DO 浓度按沿程分布未设置监测点, 暂不考虑。反硝化细菌是影响脱氮的主要微生物, 在 2018 年 10 月前后 MLSS 平均质量浓度由 4 300 mg/L 提升至 7 200 mg/L, 由于固定床平板填料的安装, 短期外加碳源提供微生物生长基质, 改善了微生物生长环境, MLSS 增加明显, 2019 年 4 月 MLSS 达到峰值, 为 8 000 mg/L。由表 1 可知, MLSS 平均质量浓度增加至 6 720 mg/L, MLVSS (混合液挥发性悬浮固体浓度) 与 MLSS 比值由 0.39 增至 0.49, 比值越大有机成分越高, 活性污泥成分越高, 结合 2019 年 4 月前后 TN 浓度的变化情况, 可见活性 MLSS 是影响脱氮的重要因素。综上所述, 通过统计 21 个月的实际运行数据, 分析得出温度、活性 MLSS 是影响该污水处理厂反硝化脱氮的重要因素。

表 1 运行参数数据统计

Table 1 Statistics of operating parameters

时间	BOD ₅ /TN	pH 值	MLSS / (mg · L ⁻¹)	MLVSS / MLSS
2017 年 12 月—2018 年 6 月	3.81	7.33	5.10	0.39
2018 年 7 月—2019 年 1 月	3.12	7.43	5.08	0.47
2019 年 2—8 月	3.06	7.50	6.72	0.49

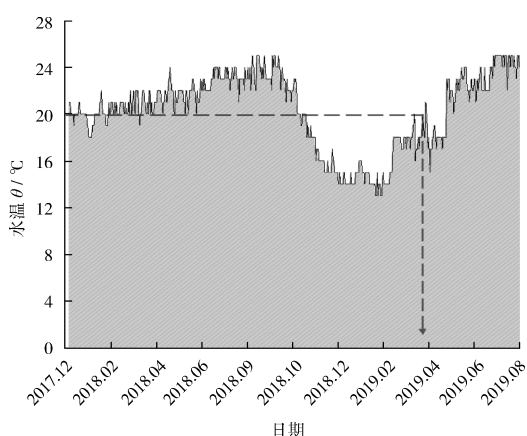


图 3 2017 年 12 月—2019 年 8 月温度变化情况

Fig. 3 Change of temperature from December 2017 to August 2019

3 试验

污水处理厂在实际运行过程中温度为 (25 ± 5) ℃, 污泥质量浓度为 (8 000 ± 1 000) mg/L, pH 值为 7.5 ± 0.2, BOD/TN 值为 3 ~ 4, 生物脱氮效果良好, 其中温度、MLSS 是影响该污水处理厂脱氮的主要因素。由于温度受季节变化影响, 难以控制, 试验拟通过控制 MLSS 的变化, 探究该污水处理厂 MLSS 对反硝化脱氮的影响。

3.1 试验装置与方法

试验采用反硝化反应器 + 磁力搅拌器, 反硝化反应器由玻璃制作而成, 总体积为 3.0 L, 有效体积 2.5 L。人工配制的污泥混合液由上方进水口进入反应器内, 外置磁力搅拌器, 具有恒温搅拌功能, 整个反应器密闭性良好。试验装置下方设有取样口, 反应器运行时间为 155 min, 5 min 取样 1 次, 5 min ~ 35 min 每 10 min 取样 1 次, 35 min ~ 95 min 每 20 min 取样 1 次, 95 min ~ 155 min 每 30 min 取样 1 次。试验污泥为污水处理厂二沉池回流污泥, 经配水混合稀释配制 MLSS 梯度, 配制水样为旋流沉砂池出水。

反应溶液由配水和污泥按照比例配制, 分别配制污泥质量浓度为 1 200 mg/L (1#)、2 400 mg/L (2#)、3 600 mg/L (3#)、4 800 mg/L (4#)、7 200 mg/L (5#)、12 000 mg/L (6#) 的污泥混合液, 无外加碳源。配水 COD 为 100 mg/L, 投加硝酸钾至溶液硝酸盐氮质量浓度为 20 mg/L。采用反硝化装置和磁力搅拌器, 搅拌器设定转速为 300 r/min, 控制温度为 25 ℃, 按时间序列取样, 测定样品硝酸盐氮浓度。硝酸盐氮测定采用麝香草酚分光光度法^[9], MLSS 测定采用重量法^[9], pH 值通过哈希 HQ11D 型便携式 pH 计测定, 温度通过 ZNHW-6T 型多功能磁力搅拌器控制。

3.2 结果与讨论

试验结果见图 4。由图 4 可见, 反应初始阶段, 混合污泥溶液中硝酸盐氮为 20 mg/L, 在 0 min ~ 35 min 的反应过程中, MLSS 梯度试验结果均呈现出硝酸盐氮下降趋势, 反应器内发生脱氮反应, 反硝化菌在缺氧条件下, 硝酸盐氮为电子受体发生还原反应, 通过一系列中间产物 (NO₂⁻、NO、N₂O) 还原为 N₂, 最终得以降解。配制的 6 组污泥混合液, 在反应过程中对硝酸盐氮的降解能力存在差异性。当 MLSS 为 1 200 mg/L 时, 反应过程中硝酸盐氮降解效果不佳, 去除率为 56%; MLSS 质量浓度增至

2 400 mg/L、3 600 mg/L、4 800 mg/L、7 200 mg/L 和 12 000 mg/L,硝酸盐氮去除率分别增至 69%、74%、91%、96% 和 97%,MLSS 质量浓度增加脱氮效果提升。吴代顺等^[10]的研究也发现,当 MLSS 质量浓度由 1 600 mg/L 增至 8 000 mg/L 时,反硝化作用增强,硝酸盐氮去除率从 82% 增至 95%。试验研究结果表明,4#、5#和 6#组的脱氮效果优于 1#、2#和 3#组,MLSS 在 1 200 mg/L ~ 12 000 mg/L 内,MLSS 的增加有利于提升反硝化脱氮效果,高 MLSS 易形成污泥絮体内部的缺氧环境,降低溶解氧对反硝化过程的影响。

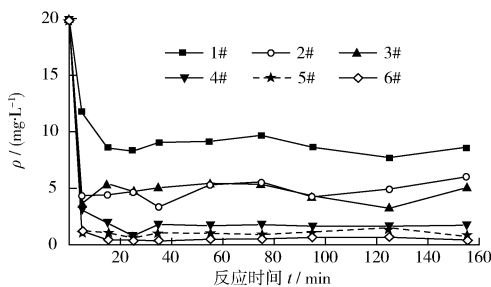


图4 硝酸盐氮质量浓度变化情况

Fig. 4 Changes of nitrate nitrogen concentration

南方城市污水厂进水 C/N 值普遍较低,进水 COD 浓度远低于设计水平,在实际污水处理过程中,高 MLSS 常由于营养物质不足需外加碳源,优化生物脱氮效果。在试验条件下计算脱氮速率,试验表明,在 0 min ~ 155 min 缺氧反应过程中,1#、2#和 3#脱氮速率低于平均反应速率,4#、5#和 6#脱氮速率均高于平均反应速率。在反应前 35 min 过程中,1#脱氮速率为 18.77 mg/(L·h),2#脱氮速率为 28.56 mg/(L·h),3#—6#脱氮速率分别为 25.64 mg/(L·h)、31.18 mg/(L·h)、32.48 mg/(L·h) 和 33.70 mg/(L·h),反应速率随着 MLSS 浓度的增加呈现增大趋势。由于 MLSS 浓度的增加,反应器混合液中存在的微生物数量增加,有利于脱氮速率的增强。MLSS 质量浓度由 4 800 mg/L 增加至 12 000 mg/L 时,脱氮速率提升并不明显,这是由于微生物存在环境发生了变化。当微生物数量较低时,混合溶液中有充足的营养物质供给生长,增加反应效率;随着微生物数量的增加,营养物质被消耗殆尽,难以维持微生物正常生长,最终混合溶液中出现部分污泥解体现象,发生内源反硝化反应,难以维持脱氮效果,总体上脱氮效率降低。在实际

污水处理运营过程中,过高的 MLSS 不仅增加了污泥处置成本,还加大了污泥沉淀分离的难度。因此,在满足脱氮效果的条件下,控制污泥质量浓度为 4 800 mg/L 更适宜实际生产运营。

4 结语

在污水处理实际运营过程中,进水 C/N 值普遍较低,进水 COD 浓度远低于设计水平,生物脱氮效果差,合理优化影响生物脱氮的影响因素,有利于提高脱氮效果,节约生产成本。在实际污水处理过程中 MLSS 为 (8 000 ± 1 000) mg/L,MLSS 过高,需额外投加碳源,不利于泥水沉淀分离,造成处理成本增加。通过试验分析,控制反应温度为 (25 ± 5) °C, pH 值为 7.5 ± 0.2,无外加碳源,MLSS 为 4 800 mg/L 时,反硝化脱氮效果最佳,硝酸盐氮去除率为 91%。根据试验结果,合理调整脱氮最佳条件,可以为污水处理脱氮优化提供借鉴。

[参考文献]

- [1] 金羽. 温度对 A²/O 系统的影响特征及脱氮除磷强化技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
- [2] 苑宏英,王雪,李原玲,等. 碳氮比对低温投加介体生物反硝化脱氮的影响[J]. 环境工程学报,2020,14(1):60-67.
- [3] 程艳茹,龚继文,封丽,等. 水处理中微生物絮凝剂产生菌的选育及应用[J]. 环境监测管理与技术,2019,31(2):6-10,46.
- [4] ZHU G C, LU Y Z, XU L R. Effects of the carbon/nitrogen (C/N) ratio on a system coupling simultaneous nitrification and denitrification (SND) and denitrifying phosphorus removal (DPR) [J]. Environmental Technology, 2020, 41(1):1-7.
- [5] 何炎焯,李能树,刘慧,等. 污水处理厂微生物生态分布初探[J]. 环境监测管理与技术,2016,28(1):64-66.
- [6] 李方舟,张琼,彭永臻. 低 DO 硝化耦合内碳源反硝化脱氮处理生活污水[J]. 中国环境科学,2019,39(4):1525-1532.
- [7] WANG K M, JIANG S F, ZHANG Z H, et al. Impact of static bio-carriers on the microbial community, nitrogen removal and membrane fouling in submerged membrane bioreactor at different COD:N ratios [J]. Bioresource Technology, 2020, 301(122798):1-9.
- [8] 张景炳,范海涛,王洪臣,等. 某污水处理厂 A²/O 工艺冬季生物反硝化过程的影响因素研究[J]. 环境污染与防治, 2019, 41(6):689-693.
- [9] 孙仕萍,邢大荣,张岚,等. 水中硝酸盐氮的麝香草酚分光光度测定法[J]. 环境与健康杂志,2007(4):256-257.
- [10] 吴代顺,桂丽娟,侯红勋,等. COD、MLSS、pH 值及污泥驯化对脱氮除磷的影响[J]. 中国给水排水,2012,28(13):117-120.

本栏目编辑 吴珊