

楚金喜, 付根深, 王小玲, 等. 基于改良 UCT 工艺的精确曝气技术的应用[J]. 净水技术, 2022, 41(11):70-75.

CHU J X, FU G S, WANG X L, et al. Application of precise aeration technology based on modified UCT process[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(11):70-75.



扫我试试?

基于改良 UCT 工艺的精确曝气技术的应用

楚金喜, 付根深*, 王小玲, 高 静, 赵晓娟

(中原环保股份有限公司, 河南郑州 450000)

摘 要 曝气系统作为城镇污水处理厂主要的耗能单元, 是制约城镇污水厂绿色低碳发展的瓶颈, 及实现节能降耗的关键。根据北方某采用改良 UCT 工艺的污水处理厂精确曝气系统应用, 结合出水水质同期对比, 研究了该系统的溶解氧控制效果以及温度变化对精确曝气的影响; 同时进行了系统能耗药耗的评估。结果表明, 精确曝气系统的应用可有效控制生物池溶解氧在 1.5 mg/L, 出水水质得到明显改善; 鼓风机在夏季能耗同比降低 3.9%, 冬季则同比降低 10.7%, 折合年电费可降低成本 0.01 元/m³, 同时药剂成本也降低 0.02 元/m³。这为今后同工艺、同规模污水厂通过精确曝气的应用改造, 实现节能降耗提供了一定的参考。

关键词 精确曝气 污水处理厂 溶解氧 出水水质 节能降耗

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2022)11-0070-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.11.010

Application of Precise Aeration Technology Based on Modified UCT Process

CHU Jinxi, FU Genshen*, WANG Xiaoling, GAO Jing, ZHAO Xiaojuan

(Central Plains Environmental Protection Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China)

Abstract As the main energy-consuming unit of urban wastewater treatment plants (WWTPs), aeration system is the bottleneck restricting the green and low-carbon development of urban WWTPs, and the key to realizing energy saving and consumption reduction. According to the application of the precise aeration system in a WWTP using the modified UCT process in the north, combined with the comparison of the effluent quality over the same period, the dissolved oxygen control effect of the system and the influence of temperature changes on the precise aeration were studied, and the evaluation of system energy consumption and drug consumption was carried out. The results showed that the application of the precise aeration system can effectively control the dissolved oxygen in the biological pool to 1.5 mg/L, and the effluent quality was significantly improved; the energy consumption of the blower in summer was reduced by 3.9% year-on-year, and in winter, it was reduced by 10.7% year-on-year. It could reduce the cost by 0.01 yuan/m³, and at the same time, the cost of water agent also reduced by 0.02 yuan/m³. This provided a certain reference for the purpose of energy-saving and consumption-reducing through the application and transformation of accurate aeration in the same process and the same scale WWTPs in the future.

Keywords precise aeration wastewater treatment plants (WWTPs) dissolved oxygen (DO) effluent quality energy-saving and consumption-reducing

污水的收集处理及资源化利用是改善城镇人居环境, 推进生态文明建设的重要组成。“十四五”期间, 污水处理厂处理规模将进一步增至 2.64 亿 m³/d, 随着

国家“双碳”目标的提出, 绿色低碳发展将成为污水处理厂今后工作的重点^[1]。

活性污泥法是目前应用最广泛的污水处理技术, 其通过微生物新陈代谢完成脱氮除磷的功效, 往往依赖于曝气系统提供适宜的溶解氧 (DO) 环境。而据统计, 曝气系统能耗占比可达城镇污水处理厂生产总能耗的 50%~70%, 因此, 优化曝气系统是实

[收稿日期] 2022-05-18

[作者简介] 楚金喜 (1987—), 男, 研究方向为城市污水运营管理, E-mail: chujinxi@cpepgc.com。

[通信作者] 付根深, E-mail: fugenshen@cpepgc.com。

现节能降耗、低碳可持续发展的关键^[2]。“非线性、大滞后”是传统曝气系统存在的主要问题,其严重滞后的曝气量调节,往往会导致生物系统明显的波动,不仅影响生物处理效果,而且会造成过度耗能;而精确曝气系统以气体流量为控制信号,以在线 DO、进水量和管道气压为辅助信号,实现“按需分配,精确供氧”^[3-4]。目前,精确曝气系统在国内众多污水厂得到成功应用,综合节能潜力可达 10%~30%^[5]。例如,荆玉姝等^[6]指出,青岛张村河污水净化厂引入精确曝气分配与控制系统后,DO 稳定在 ± 0.3 mg/L,出水水质更加稳定,曝气能耗降低 24.8%,乙酸钠药耗降低 15.8%;邓欢忠等^[7]以某 10 万 m³/d 的污水厂为研究对象,发现精确曝气可实现分区的 DO 控制,其水量比能耗降低 4.48%;李升等^[8]报道了马头岗二期精确曝气应用效果,其精度可控制在 1%以内,总磷日均值降低 67.24%。

因此,本研究通过北方某污水处理厂的精确曝气系统改造工程,探究了精确曝气的实际控制效果对出水水质的影响,同时对药耗和不同温度下能耗进行了系统性评估。

1 材料与方法

1.1 项目背景

北方某污水处理厂采用改良 UCT 工艺,其特点在于内回流由 2 个部分组成,即好氧段污泥回流至缺氧端和缺氧端污泥回流至厌氧段,该工艺不仅能克服 UCT 工艺不易控制缺氧段的停留时间的缺点,还能避免控制不当,造成 DO 对厌氧区造成影响。该厂一期处理规模为 10 万 m³/d,共设两组生物池,单组处理水量设计为 5 万 m³/d,其工艺流程图如图 1 所示,排放标准执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准与《贾鲁河流域水污染物排放标准》(DB 41/908—2014)。

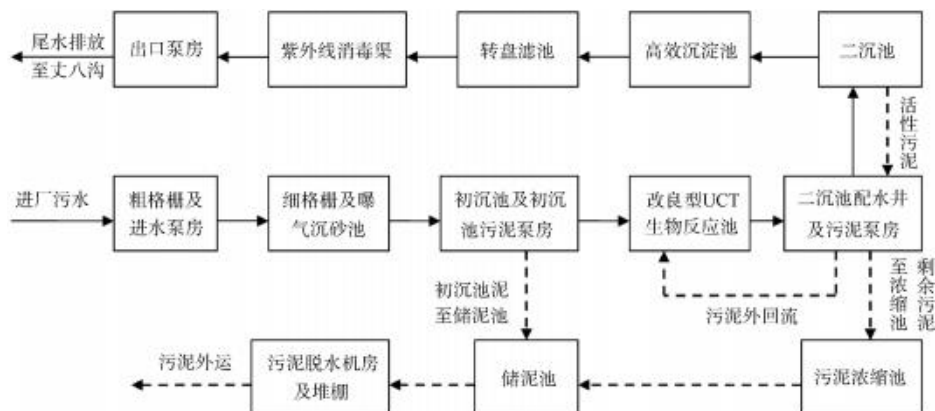


图 1 污水处理厂厂区工艺流程图

Fig. 1 Process Flow Chart of WWTP

该厂长期处于进水碳源低、水质波动大的运行状况。在日常的生产中电耗,药耗成本占比较高,2020 年厂区能耗分布如图 2 所示。污水处理电耗占比高达 79.08%,节能降耗空间巨大。因此,2021 年 2 月引入某公司自主研发的精确曝气系统。

1.2 精确曝气系统原理及应用

传统 PID 控制为实现 DO 达到某一个设定值,频繁启动鼓风机、空气蝶阀,影响设备的使用寿命,增加设备的维护成本。某公司的精确曝气系统会针对日、月、年的数据进行智能化分析,采用趋近循优参数选择,科学设定 DO 的控制区间、空气调节阀门区间、鼓风机压力范围区间,经智能专家系统分析实

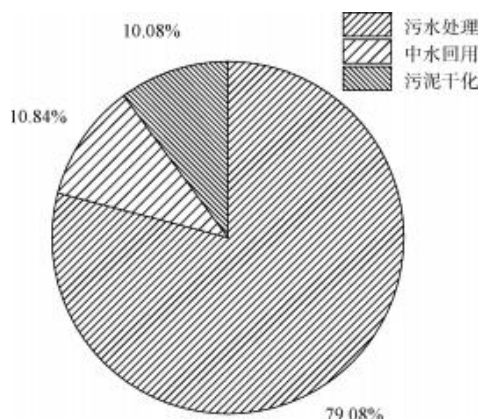


图 2 2020 年该污水处理厂生产能耗分布

Fig. 2 Production Energy Consumption Distribution of the WWTP in 2020

时调控,实现对好氧末端控制目标的预控,使 DO 在最佳范围,保证出水达标,系统原理如图 3 所示。该系统

与传统 PID 的精确曝气控制相比,减少了鼓风机等设备的动作频次,保证了精确曝气的长期稳定运行。

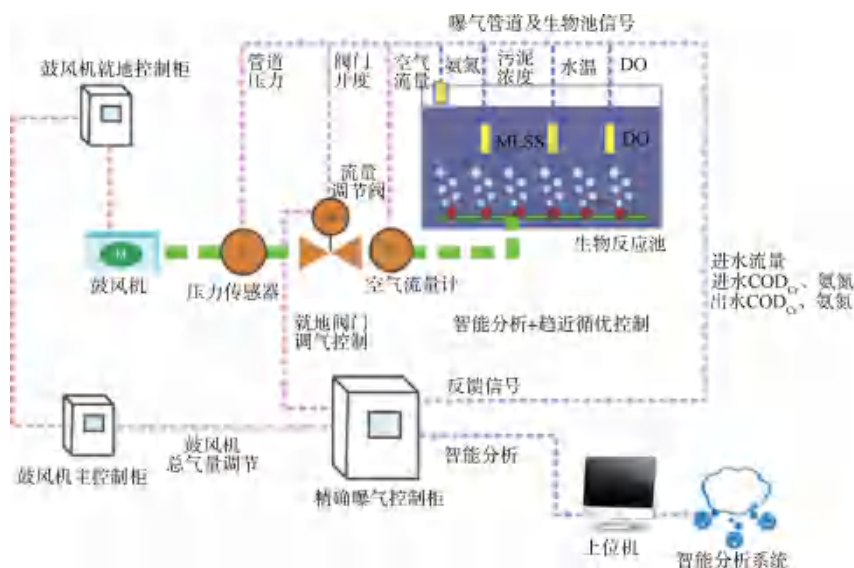


图 3 精确曝气系统控制示意图

Fig. 3 Control Diagram of Precise Aeration System

该厂结合生产实际与现有曝气管道设计,将生物池好氧段 DO 控制分为前端、中断、末端 3 个区段,每个区段均安装 DO 探头,污泥浓度计安装在好氧段末端;同时根据末端 DO 目标值设定,实时收集生物池 DO、水量、污泥浓度、水温等指标参数的反馈。经智能分析后,通过精确曝气系统控制柜,鼓风机主控制柜,鼓风机就地控制柜逐级实现风量的调整,且可根据 DO 各区域的实际需求,手动调整曝气管支路的蝶阀开度,实现对每个曝气支管的分区控制。

2 结果与讨论

2.1 DO 控制分析

为了准确评估精确曝气系统的控制效果,于 2021 年 2 月 21 日—2021 年 2 月 27 日进行实际 DO 测试,设定生物池出口 DO 目标值为 1.5 mg/L,结果如图 4 所示。

DO 基本维持在 1~2 mg/L,波动在 ± 0.5 mg/L,说明精确曝气对 DO 有良好的控制效果。但每天 8:00—10:00,DO 明显偏离设定值。这是由于在此

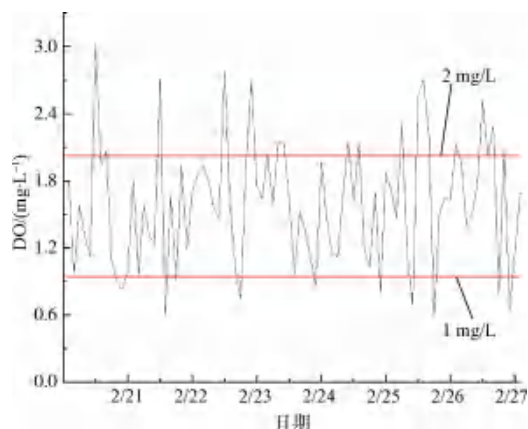


图 4 生物池末端 DO 控制曲线

Fig. 4 Control Curve of DO at the End of Biological Tank

期间进水水量过低,而鼓风机风量调节范围有限,即使将风量调至最小开度,供气量也依旧过剩。这与其他精确曝气应用的相关报道一致^[3]。

2.2 进出水水质对比分析

如表 1 所示,2021 年 12 月与 2020 年 12 月的月进水总量、进水 COD_{Cr} 、氨氮、总氮浓度无明显差异,

表 1 2020 年 12 月与 2021 年同期进水水质指标

Tab. 1 Effluent Quality Indices in December 2020 and 2021

时间	进水量/ m^3	$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	氨氮/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	总氮/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	总磷/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
2020 年 12 月	236.27 万	282.97	35.88	43.89	5.04
2021 年 12 月	221.46 万	209	35.5	43.4	3.15

仅总磷浓度偏低,水质情况基本接近。

图5为精确曝气系统应用前后出水水质指标对比。由图5可知,2021年12月的日进水量波动情况明显高于2020年同期,这对于污水的生化处理是不利的。2021年12月出水 COD_{Cr} 、总氮、总磷的日浓度相较于2020年同期明显下降。 COD_{Cr} 平均去除率从91.06%提升至95.42%;总氮平均去除率从70.0%提升至73.8%;总磷平均

去除率从94.4%提升至97.3%。这表明精确曝气系统的应用,的确有助于进一步改善出水水质,同时保证出水水质的稳定性。值得注意的是,氨氮的平均去除率均在99%以上,但在12月18日往后,2021年出水氨氮日浓度反而高于同期水平,这是由于精确曝气DO控制优化调节,减少因出水氨氮无必要的过度处理造成电耗成本增加。

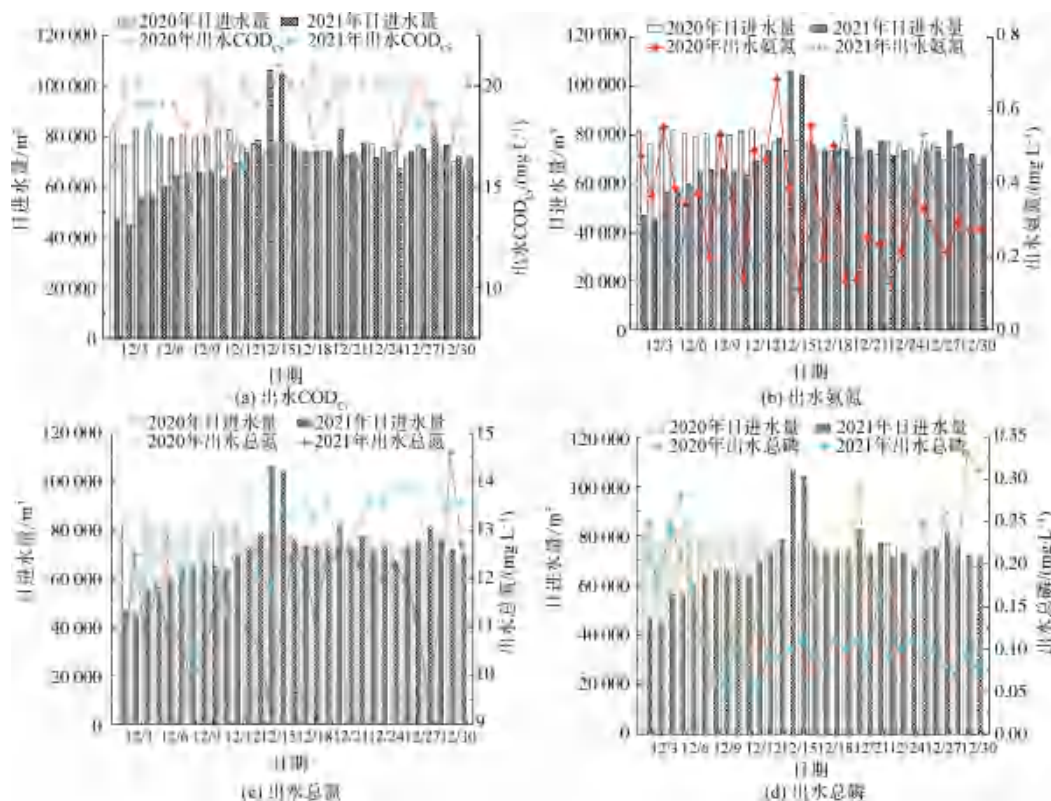


图5 精确曝气系统应用前后出水水质指标对比

Fig. 5 Comparison of Effluent Quality Indices before and after Application of Precise Aeration System

生物池内污泥活性强弱及浓度大小是评价污水生化处理效果的关键指标^[9]。图6为精确曝气系统应用前后生物池污泥浓度的对比分析结果。2021年12月日均污泥浓度相较于2020年同期有显著提升,污泥平均浓度增长32.3%。结合图4与图5的讨论结果,可以充分说明精确曝气系统的精准按需曝气,在生物池内分区域形成了动态稳定的DO环境,对微生物的活性及生长繁殖有积极作用,从而保证在2021年进水量同比波动明显的情况下,生物池抗冲击负荷增强且出水水质的进一步优化。

2.3 温度变化对精确曝气的效果评价

温度的季节性变化对我国北方污水处理厂的生产能耗以及出水水质情况有明显的冲击,其中缺氧段的反硝化进程受温度的变化制约最明显^[10-11]。因此,选取2021年7月、12月作为夏季、冬季的代表月份,进行温度探究分析,并与2020年同期月份进行对比。表2为各时期生物池的平均温度,其中一系列与二系列是该厂一期两组平行的生物池系统。2021年7月平均池温为23.44℃,12月的平均池温为15.88℃,均与2020年同期基本持平。

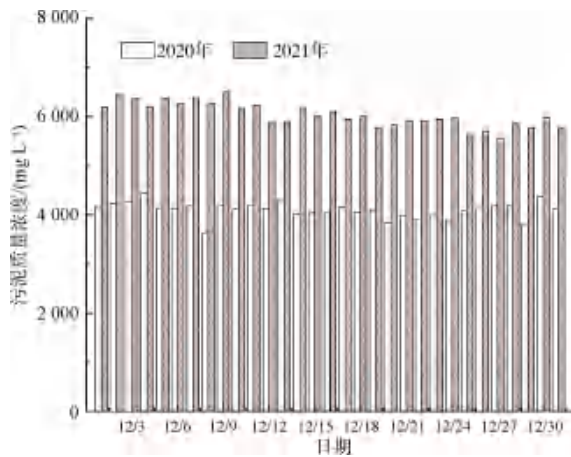


图6 精确曝气系统应用前后生物池污泥浓度对比
Fig. 6 Comparison of Bio-Pool Sludge Concentrations before and after Application of Precision Aeration System

表2 不同时期下生物池水温变化

Tab. 2 Changes of Water Temperatures of Biological Pool under Different Period

时间	一系列水温/℃	二系列水温/℃	平均水温/℃
2020年7月	23.33	23.01	23.17
2020年12月	15.32	15.66	15.49
2021年7月	23.45	23.42	23.44
2021年12月	15.83	15.92	15.88

图7为温度变化对出水水质的影响。2020年12月出水 COD_{Cr} 、总氮、氨氮浓度相较于7月有明显上涨,其中出水 COD_{Cr} 质量浓度上涨4.37 mg/L,出水总氮浓度上涨2.74 mg/L;而应用精确曝气后的2021年同期出水水质变化却不明显。这是因为冬季水温下降,活性污泥中微生物增殖速率,群落结构及沉降

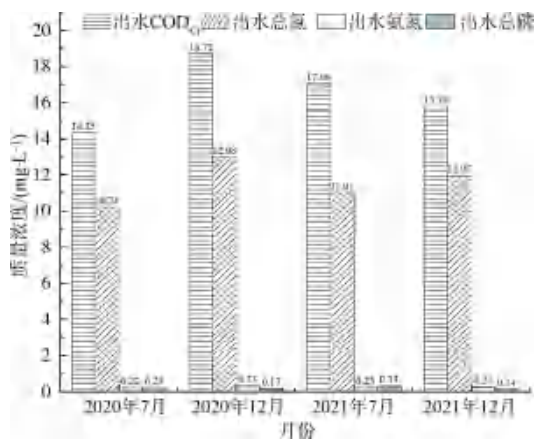


图7 温度变化对出水水质的影响

Fig. 7 Changes of Influence of Temperatures on Effluent Quality

性能受影响明显,导致水体污染物去除性能变差。而精确曝气的应用创造了适合微生物生长的DO环境,很大程度上抵消了温度下降带来的消极影响。

表3为2021年与2020年不同时期下的污泥浓度。各时期生物池一、二系列的污泥浓度大致相同。2021年夏季7月的污泥平均浓度相较于2020年同期增加27.6%,冬季12月污泥浓度增加32.2%。这再次表明精确曝气对气量的实时控制显著提高了生物池各区域的微生物活性及浓度,这与图6的分析结果一致。

表3 不同时期下生物池污泥浓度

Tab. 3 Sludge Concentration of Biological Pond in Different Periods

时间	一系列质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	二系列质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	平均质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
2020年7月	4 307	4 380	4 343
2020年12月	4 505	4 634	4 569
2021年7月	5 560	5 527	5 543
2021年12月	5 992	6 087	6 040

2.4 节能降耗效果评价

2.4.1 鼓风机能耗分析

节能降耗是精确曝气系统应用效果评估的关键^[7]。表4为精确曝气系统应用前后鼓风机能耗的对比。可以发现,2021年12月的鼓风机单耗最低,仅为 $0.142 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{m}^3$,相较于2020年同期能耗降低10.7%;而2021年7月的鼓风机单耗同比仅降低3.9%。这可能是因为冬季相较于夏季池温低,微生物活性减弱,生化处理效果变差,曝气量需求增加,传统曝气的粗放式曝气导致鼓风机电耗偏高。此外,冬季去除单位质量 COD_{Cr} 的能耗同比下降32.6%,夏季同比下降17.5%,也进一步表明精确曝气带来的良好经济效益。

表4 精确曝气应用前后鼓风机能耗对比

Tab. 4 Comparison of Blower Energy Consumption before and after Precise Aeration Application

时间	月进水量/ m^3	鼓风机电耗/ ($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$)	能耗/ [$\text{kW} \cdot \text{h} \cdot (\text{kg COD}_{\text{Cr}})^{-1}$]
2020年7月	209.46万	0.153	1.03
2020年12月	236.27万	0.159	0.89
2021年7月	216.67万	0.147	0.85
2021年12月	221.46万	0.142	0.6

2.4.2 系统药耗分析

该污水厂进水 C/N 长期偏低,导致需要外加碳源的补充;同时化学除磷也是污水厂除磷的必要手段。因此,针对精确曝气应用前后药耗的系统分析,也是对精确曝气系统的评价指标,结果如图 8 所示。

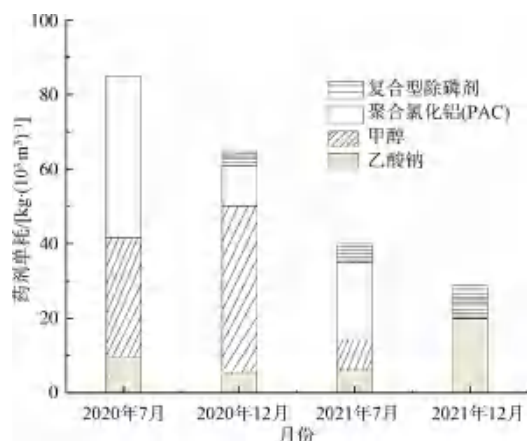


图 8 精确曝气系统应用前后药耗对比

Fig. 8 Comparison of Chemicals Consumption before and after Application of Precise Aeration System

精确曝气应用后的药耗累计使用量明显降低,2021 年 7 月甲醇投加量同比降低 24 kg/(10³ m³),PAC 投加量降低 22 kg/(10³ m³);2021 年 12 月各药剂单耗累计量最低,其中 PAC 药剂和甲醇的投加量均为 0。这是因为精确曝气 DO 的精确控制降低了回流硝化液 DO,强化了生物除磷,同时避免了好氧段过量曝气导致水体自身碳源的过量消耗,降低了缺氧反硝化过程中的碳源投加,结果与图 5 分析一致。

2.4.3 整体性评价

精确曝气系统的应用在生产能耗,药耗上具有显著的经济效益。结合上文可知,2021 年 12 月与 2020 年 12 月相比,鼓风机耗电降低 0.017 kW·h/m³,碳源药剂降低 45 kg/(10³ m³),除磷药剂降低 10 kg/(10³ m³)。2021 年累计处理水量为 2 537.18 万 m³,电费单价为 0.6 元/(kW·h),外加碳源单价为 3 600 元/m³,除磷药剂为 486 元/m³,计算可得年电费降低 0.01 元/m³,药剂费降低 0.02 元/m³,节能降耗效果明显。

3 结论

精确曝气系统的应用是城镇污水厂实现出水水质稳定改善、节约成本的有效措施。本研究基于北方某污水处理厂精确曝气系统的应用,结论如下。

(1)精确曝气系统实现了生物池好氧区 DO 稳定控制在 1.5 mg/L,波动在 0.5 mg/L 左右。

(2)精确曝气系统的应用进一步稳定和改善了出水水质,COD_{Cr} 平均去除率从 91.06% 提升至 95.42%;总氮平均去除率从 70.0% 提升至 73.8%;总磷平均去除率从 94.4% 提升至 97.3%。

(3)精确曝气系统在冬季的应用效果明显优于夏季,精确曝气通过 DO 的精确控制明显增加了两系列生物池污泥浓度,冬季污泥浓度平均增加 32.3%,保证微生物冬季的活性高于同期。

(4)精确曝气系统节能降耗效果明显。鼓风机在夏季能耗同比降低 3.9%,冬季则能同比降低 10.7%,药耗也得到很大程度节约。应用精确曝气系统年电费可降低 0.01 元/m³,药剂费降低 0.02 元/m³。

(5)本文重点围绕北方某采用改良 UCT 工艺的污水厂精确曝气的应用研究,处理水量规模仅为 10 万 m³/d。因此,关于城镇大多数采用传统 AAO 工艺以及处理规模更大的污水厂,精确曝气的应用以及节能降耗的效果评价还需要深入的研究。

参考文献

- [1] 姚书成, 谢懿鑫. 城镇污水处理厂的发展与未来[J]. 科技视界, 2019(4): 295-296.
- [2] 沈军. 精确曝气系统(AVS)在 AAO 工艺中的运行分析[J]. 净水技术, 2016, 35(5): 73-78.
- [3] 李建军, 唐安平, 胡海军. 污水处理厂精确曝气控制系统的关键问题[J]. 中国环保产业, 2021(7): 31-34.
- [4] 胡田力, 邱叶林, 韩宝平. 基于 AAO 工艺的智能曝气系统设计与调试[J]. 净水技术, 2020, 39(10): 37-42, 57.
- [5] 谢小明. 精确曝气控制在污水处理厂中的应用和探索[J]. 中国给水排水, 2016, 32(6): 24-27.
- [6] 荆玉妹, 牟润芝, 姜怡名, 等. 曝气精确控制实现污水处理厂节能降耗的应用[J]. 环境工程, 2022, 40(5): 141-145, 165.
- [7] 邓欢忠, 徐文丽, 林梅山, 等. 精确曝气流量控制系统在污水处理厂的应用[J]. 给水排水, 2019, 55(s1): 51-54.
- [8] 李升, 胡晓东, 许飞飞, 等. 马头岗污水厂精确曝气系统的实施及应用效果[J]. 中国给水排水, 2016(15): 26-31.
- [9] 唐鑫伟, 傅坚亮, 任亚英. 精准曝气系统在提高 AAO+MBR 工艺总氮去除率中的应用[J]. 净水技术, 2020, 39(s1): 133-137.
- [10] 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.
- [11] 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.