

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.01.002

HPB 工艺用于污水厂提标扩容改造的生产性试验研究

柴晓利^{1,2}, 韩红波², 张宏亮³, 武博然¹, 尚俊材⁴, 黄庆⁵, 牟悦²,
姜立安³, 巢真², 戴晓虎¹

(1. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 湖南三友环保科技有限公司, 湖南长沙 410205; 3. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 4. 长沙水业集团有限公司, 湖南长沙 410015; 5. 湖南科友环保有限公司, 湖南长沙 410205)

摘要: 基于 HPB 工艺中试研究结果,为进一步验证 HPB 工艺在提标扩容实际生产工况下的处理效果和可实施性,在湖南某水质净化厂进行了生产性试验。试验期间,在总进、出水量保持不变的条件下,进行 HPB 工艺改造,将现状两组生化池(A^2/O)切换为单组运行,处理水量提升 1 倍,总停留时间缩短为 5.0 h 以下。通过复合粉末载体的投加及排泥过程中载体和附着微生物的回收循环,实现了“双泥龄”,克服了脱氮菌和除磷菌的污泥龄矛盾,提高了脱氮除磷效率。试验结果表明,生化池混合液浓度控制在 10 000 mg/L 左右,在厂区进水水量和水质变化较大($K_z \geq 1.3$)、水温低于冬季设计温度时,HPB 工艺系统运行稳定,主要出水水质指标 $COD < 30$ mg/L、 $NH_3 - N < 1.5$ mg/L、 $TN < 10$ mg/L、 $TP < 0.3$ mg/L,能够实现高效、稳定达标。

关键词: 高浓度复合粉末载体生物流化床; 双泥龄; 脱氮除磷

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)01-0009-07

Full-scale Test of HPB Process Applied in Upgrading and Capacity Expansion of a Wastewater Treatment Plant

CHAI Xiao-li^{1,2}, HAN Hong-bo², ZHANG Hong-liang³, WU Bo-ran¹, SHANG Jun-cai⁴,
HUANG Qing⁵, MU Yue², JIANG Li-an³, CHAO Zhen², DAI Xiao-hu¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Hunan Sanyou Environmental Protection Co. Ltd., Changsha 410205, China; 3. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China; 4. Changsha Water Group Co. Ltd., Changsha 410015, China; 5. Hunan Keyou Environmental Protection Co. Ltd., Changsha 410205, China)

Abstract: Based on pilot test results of the high concentration powder carrier bio-fluidized bed (HPB) process, the full-scale test was carried out in a wastewater treatment plant (WWTP) in Hunan Province, which aimed to further verify the performance and feasibility of HPB process under actual production condition of upgrading and capacity expansion. During the test period, the current process was transformed to HPB process with no change of the total amount of influent and effluent, and the current two biochemical tanks (A^2/O) were switched to a single group operation, in which the treatment capacity

doubled and the total hydraulic residence time was shortened to less than 5.0 h. Through adding composite powder carriers and recycling carriers and biofilm attached on them during sludge discharge process, the two independent sludge age was realized, which overcame the contradiction of sludge age between nitrogen and phosphorus removal bacteria and improved the removal efficiency of nitrogen and phosphorus. The full-scale test showed that the concentration of mixed liquid suspended solid could be controlled at 10 000 mg/L. When the quantity and quality of influent of the WWTP changed greatly ($K_z \geq 1.3$) and the water temperature was lower than the design temperature in winter, the HPB process system operated stably, and the main water quality indexes of the effluent could efficiently and stably meet the discharge standard (COD < 30 mg/L, $\text{NH}_3 - \text{N}$ < 1.5 mg/L, TN < 10 mg/L and TP < 0.3 mg/L).

Key words: high concentration powder carrier bio-fluidized bed; two independent sludge age; nitrogen and phosphorus removal

目前,现有污水处理厂深度处理与提标扩容改造技术,普遍存在占地面积大、投资运行费用偏高、运行控制较复杂等问题,难以适应我国在城镇污水处理厂提标、扩容两方面不断增长的技术需求。因此,在不增加或少增加占地的情况下,提高现有污水处理系统效率、实现污水处理厂同步提标与扩容是今后一段时期内污水处理技术的重点发展方向。

高浓度复合粉末载体生物流化床(HPB)技术基于污水生物处理技术原理,通过向生化池中投加复合粉末载体,提高生物池混合液浓度的同时,构建了悬浮生长和附着生长“双泥”共生的微生物系统;并通过污泥浓缩分离单元、复合粉末载体回收单元,实现了“双泥龄”,强化了生物脱氮除磷效果。借鉴生物硅藻土技术进行产业化开发成为 HPB 工艺,并在湖南某水质净化厂进行了为期6个月的中试。采用 HPB 中试装置模拟该污水厂的生化处理单元,处理负荷提升1倍,在低温条件下启动并稳定运行,主要出水水质指标 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP 等均能稳定

达到《湖南省城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB 43/T 1546—2018)中的一级标准(简称:湖南地标一级标准)^[1]。HPB 中试结果表明,该技术已初步具备了大型污水处理厂原位提标扩建工程应用的可能性,但是,作为城镇污水处理生化段新工艺,需要进一步进行生产性试验,以期为污水厂提标扩建工程设计、建设、运行提供技术支撑。笔者针对该污水厂提标扩建的技术要求,选用 HPB 技术与现有 A^2/O 工艺结合,对现有生化池进行技术改造后开展生产性试验。

1 工艺现状与改造需求

湖南省某水质净化厂的现状处理规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,生化段采用 A^2/O 工艺(如图1所示),出水水质执行国家一级 A 排放标准。根据规划,近期处理规模需要扩建至 $19 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,污水量总变化系数(K_z)为 1.3,且出水水质标准由国家一级 A 标准提升至湖南地标一级标准。设计进、出水水质如表1所示。

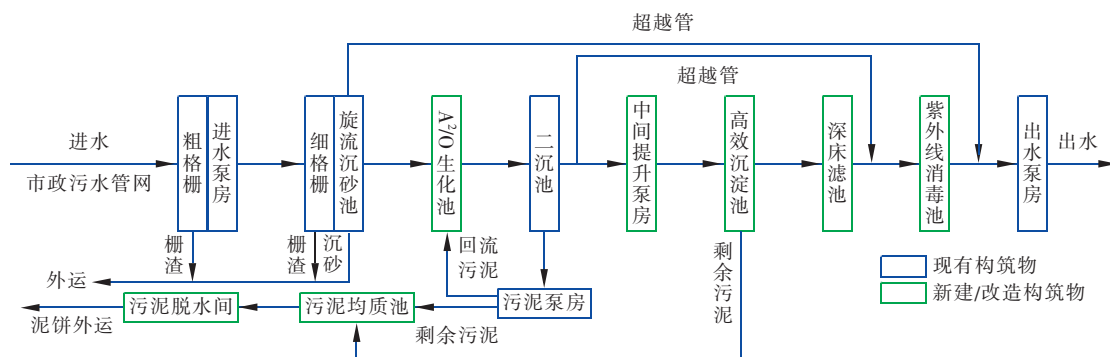


图1 水质净化厂现状工艺流程

Fig. 1 Current process of wastewater treatment plant

表 1 生产性试验设计进、出水水质

Tab. 1 Designed influent and effluent quality of full-scale

项目	test $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$			
设计进水	COD 280	$\text{NH}_3 - \text{N}$ 20	TN 30	TP 5.0
设计出水 (湖南地标一级标准)	<30	<1.5 (3.0)	<10	<0.3
注: 括号内为水温 $\leq 12^\circ\text{C}$ 时的控制标准。				

2 工艺改造的技术方案选择与实施

2.1 技术难点

该厂提标扩容改造所面临的主要问题有:①出水水质标准高、升级改造难度大,出水水质标准由国家一级 A 标准提升至湖南地标一级标准(相当于地表准Ⅳ类标准),出水总氮、总磷和 SS 等指标标准都有较大幅度提升,对改造工艺要求高;②处理能力由 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 提升至 $19 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,厂内无生化池扩建用地,如扩建需征地,投资费用高,建设周期长,急需可原位改造的工艺进行提标扩容改造。

2.2 技术方案选择与实施

针对该厂提标扩建的技术要求,本研究选用 HPB 技术与现有 A^2/O 工艺结合,对目前的生化池进行技术改造后开展生产性试验,改造后的生化池工艺流程如图 2 所示。

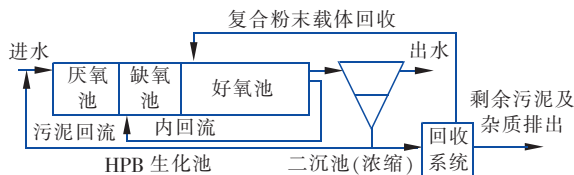


图 2 HPB 工艺流程

Fig. 2 Flow chart of HPB process

该厂生化池原设计处理能力为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分两组并列运行,在本次生产性试验中,将西面一组的生化池停止运行,东面一组设为试验组独立运行,承担 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的全部处理水量。对试验组及配套设施改造如下:

① 增加潜水推流器 8 台,好氧区增加双曲面搅拌机设施 29 台、浮筒式环流曝气器 15 台;启用原硝化液回流备用泵;更换污泥回流泵。

② 原设计每组生化池对应 2 座二沉池,现试验组承担全部处理水量,末端需分配一半水量至另外 2 座二沉池。采用 2 组轴流泵及管道通过变频进行实时调配。

③ 新建 1 座加药间,主要用于向生化池中投加复合粉末载体等。

④ 设置复合粉末载体回收系统,用于剩余污泥中复合粉末载体及附着微生物的回收循环利用。

上述准备工作于 2019 年 7 月—9 月初完成,未对厂区正常生产造成影响。

2.3 生产性试验过程

2019 年 9 月 9 日开始试验调试,采用低投量、逐步提高混合液浓度的方案。这期间,复合粉末载体投加量为 60 mg/L ;混合液中各种微生物总质量 (MLVSS) 占全部混合液固体质量的比例(简称:MLVSS 占比)控制目标为 0.33(试验改造前该比例为 0.4~0.5),通过投加复合粉末载体和调节排泥量共同控制,逐步实现。

10 月 16 日,复合粉末载体回收系统组装完成,进入调试。4 d 后,试验组混合液浓度达到阶段目标 $8\,000 \text{ mg/L}$ 。10 月 22 日,关闭西面组进水,全部进水切换至试验组。单组进水量从 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 提升至 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。启动复合粉末载体回收循环系统;继续按 60 mg/L 投加复合粉末载体。

11 月混合液浓度达到本次试验设计浓度最高值 $12\,000 \text{ mg/L}$ 左右,MLVSS 占比约为 0.33,HPB 工艺生产性试验进入稳定运行状态。通过检测混合液浓度及 MLVSS 占比的变化,发现 MLSS 每天减少量为 $300 \sim 600 \text{ kg}$ (减量主要为复合粉末载体),因此确定原投加量转为补充投量,经计算按每天 500 kg 补充。11 月 8 日,进行二沉池最大负荷测试,由 4 座二沉池转为 3 座运行,连续运行时间为 28 d。

2020 年 1 月,水温逐步降低至设计低温,在 1 月 24 日达到 10°C 。进入冬季后,逐步降低混合液浓度到 $10\,000 \text{ mg/L}$ 或以下,考察低水温条件下降低混合液浓度后 TN 去除效果的稳定性。

本次生产性试验采集数据时间:2019 年 10 月 21 日—2020 年 1 月 24 日。

2.4 生产性试验目标

① 生产性试验期间,保持处理规模不变,且出水水质需要达到新标准。验证 HPB 工艺中试结果:生化池混合液浓度设计值 $\leq 12\,000 \text{ mg/L}$ 的适用性,生化池处理量由 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 提升至 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ($K_z = 1.3$),在无外加碳源的条件下,出水水质达到湖南地标一级标准;并进一步考察 HPB 工艺在冬季低水温条件下的运行情况,重点考察 HPB 工艺的

物脱氮效果。

② 考察复合粉末载体投加后的混合搅拌、曝气充氧效率以及沉积情况,探讨其回收循环利用的可行性。

③ 关注高浓度混合液进入二沉池后的配水、负荷能力、产泥量等技术指标,以及能耗等有关经济指标。

3 结果与讨论

3.1 水量与水质

生产性试验期间,调试过程除外,本研究采集稳定运行 96 d 的数据。图 3 为稳定运行期间进水水量的变化情况(水温由 23 ℃ 逐渐降至 10 ℃)。可以看出,试验组生化池进水水量日均值在 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右,最高日均值超过 $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,完全满足生产性试验目标即处理能力达到 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $K_z = 1.3$ 的要求。

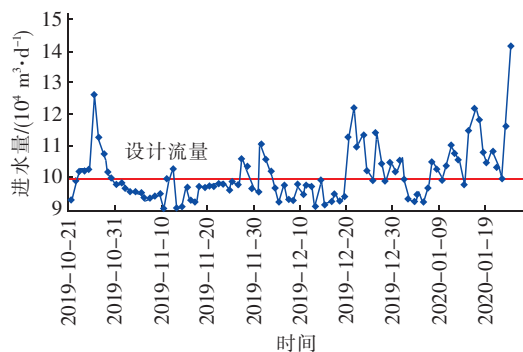


图3 生化池稳定运行期间的进水水量

Fig. 3 Influent flow of biological treatment tank during stable operation period

复合粉末载体颗粒当量粒径在 20 μm 左右,悬浮分散性能优,比表面积大 ($30 \sim 50 \text{ m}^2/\text{g}$),生物亲和性好,有利于附着性微生物形成生物膜。投加复合粉末载体后,在生化池可以构建悬浮生长和附着生长“双泥”共生的微生物系统,有效提高反应池的微生物量。当 MLSS 由 5 000 mg/L 提升到 10 000 ~ 12 000 mg/L 时,系统的生物多样性提高、附着性微生物丰度增加,为 HPB 高效脱氮除磷提供了保障。图 4 为进出水 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 TP 浓度的变化,虽然进水水量与水质波动较大,但出水水质能够保持相对稳定。对照湖南地标一级标准,COD、TP 均能实现 100% 达标;出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 在 0.1 mg/L 以下,仅试验前期个别时段出现 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度的波动,主要是由于生化池溶解氧控制偏低导致。

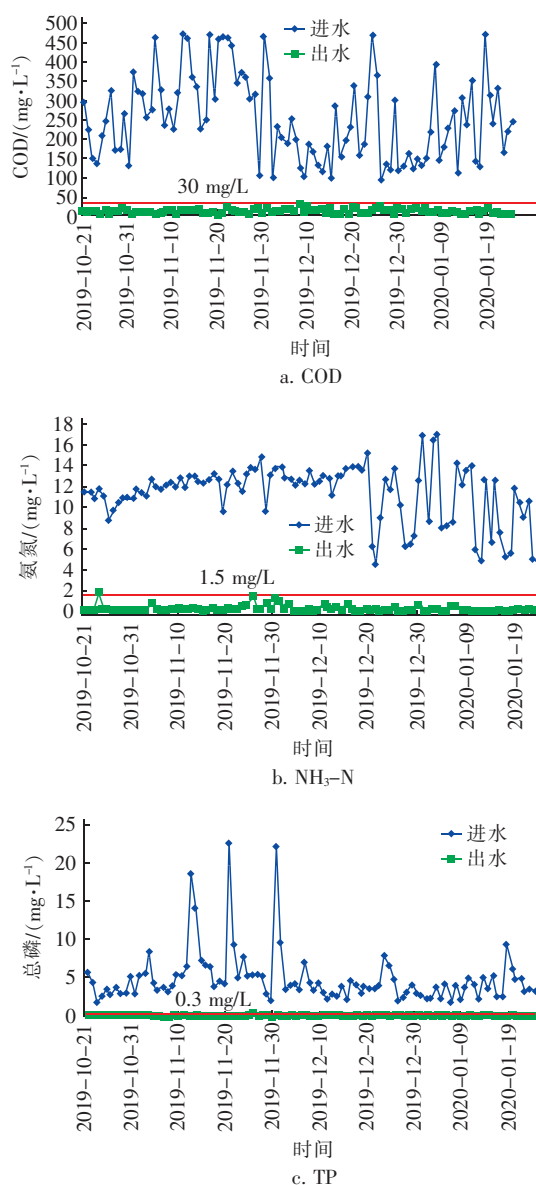


图4 生化池稳定运行期间进出水 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 TP 浓度的变化

Fig. 4 COD, $\text{NH}_3 - \text{N}$ and TP concentrations in influent and effluent of biological treatment tank during stable operation period

投加复合粉末载体后,其表面大量附着生物膜,优化了生化池各处理单元的微生物群落结构,促进了污水的高效、低耗脱氮处理;此外,随着生物膜由外到内溶解氧的逐渐衰减,构建了局部缺氧微环境,有效促进好氧区的同步硝化反硝化反应,也有利于生化池内碳源的合理分配与高效利用,实现城镇污水的高标准总氮排放。试验运行期间进、出水 TN 浓度的变化如图 5 所示。在进水 TN 平均浓度为

25.68 mg/L、最高为 56.40 mg/L,无外加碳源条件下,通过 HPB 工艺处理可高效去除 TN,出水 TN 平均值为 7 mg/L 左右,平均去除率为 71.22%,较传统活性污泥法的 TN 去除率(60%左右)可提升 10% 以上。根据试验后期脱氮数据分析,在全年最低水温时段 1 月 15 日—24 日,日均处理水量为 $11.41 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,平均总水力停留时间(HRT)小于 4.4 h,其中缺氧段 HRT 小于原设计的一半,所有脱氮相关因素均为全年最不利条件,HPB 工艺的 TN 去除率仍可维持在 70% 左右,进一步验证了 HPB 微生物系统在不同水温条件下,仍然具有相近 TN 去除率的稳定性。

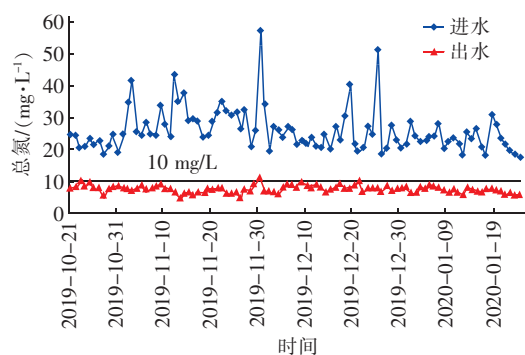


图5 生化池稳定运行期间进出水 TN 浓度的变化

Fig.5 TN concentration in influent and effluent of biological treatment tank during stable operation period

3.2 混合搅拌及曝气充氧效率

考察投加复合粉末载体后搅拌对 DO 浓度的影响。在进水 COD 出现波动、超出设计值达到 353 mg/L 时,鼓风机在 95% 工频下,停止搅拌 30 min,稳态工况下测得 DO 浓度为 1.714 mg/L。然后开启搅拌机,10 min 后测得 DO 浓度为 1.951 mg/L,相比无搅拌工况提高了 13.8%;搅拌 30 min 后测得 DO 浓度为 1.930 mg/L,相比无搅拌工况提高了 12.6%。DO 浓度升高应与鼓风气泡在水流中的运动轨迹变化有关,从无搅拌条件下的近似直线上升改变为有搅拌状态下呈螺旋上升,气泡的运行轨迹延长、停留时间增加,对流传质效率提高,使得 DO 浓度提升 13% 左右。

3.3 复合粉末载体的投加及回收循环利用

试验初期,东组生化池开始持续投加复合粉末载体,经过 40 d 左右,由于载体附着微生物的生长以及控制排泥等共同作用,混合液浓度升高至 8 000 mg/L(见图 6)。待复合粉末载体表面附着生长的

微生物日渐成熟,出水水质保持稳定后,关闭西组生化池进水,只运行东组生化池,但仍然对西组生化池进行微曝气,以保持微生物活性。保持西组生化池少量曝气扰动 3 个月后,将西组生化池放空,仅可见疏松状污泥沉积,未发现复合粉末载体板结情况。10 月 16 日启动 HPB 工艺的复合粉末载体回收系统调试,该系统包括大颗粒过滤器、加压泵、复合粉末载体水力旋流器等,主要利用密度差将复合粉末载体和附着微生物与悬浮微生物及杂质分离。10 月 21 日该系统与剩余污泥排放泵联动调试结束,正式运行,试验结果显示:随着回收系统的启用,根据 MLVSS 占比稳定值,可说明复合粉末载体和附着微生物实现了大部分被回收循环利用,剩余排放污泥中悬浮微生物及杂质被及时排出。

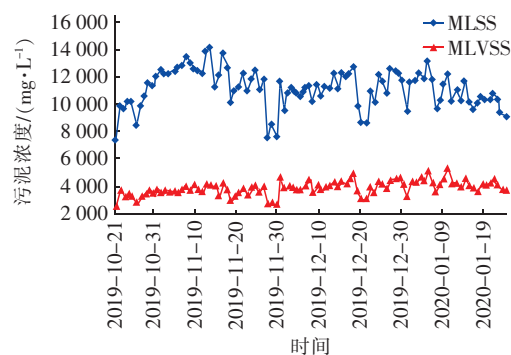


图6 生化池稳定运行期间 MLSS、MLVSS 的变化

Fig.6 MLSS and MLVSS of biological treatment tank during stable operation period

根据图 5,系统的 TN 去除率可稳定在 71% 左右。进水浓度出现较大波动时,系统仍可维持较高的 TN 去除率。分析认为,适合在载体表面附着生长的微生物,通过复合粉末载体回收循环系统延长了泥龄,与脱氮相关的功能微生物逐步成为优势菌群,提高了 HPB 的生物脱氮性能^[2-4];而悬浮微生物及载体上老化剥落的生物膜及时排出,更加有利于系统除磷。

利用回收循环将附着微生物的泥龄延长,降低排出悬浮微生物的泥龄,形成不同功能微生物的泥龄差异,被称之为“双泥龄”,强化了 HPB 的脱氮除磷效果。

根据试验期间的连续监测数据,经过回收循环系统后排出的剩余污泥,其有机质含量提高 5% ~ 10%,MLVSS 在剩余污泥总质量中的占比可达到 0.4 ~ 0.45 或以上,更有利于后续污泥处理处置与

资源化利用。

3.4 二沉池负荷测试

试验期间的实际进水流量、试验组混合液浓度以及 MLVSS 占比是影响二沉池稳定运行的 3 个重要因素。自进水全部切换至试验组,从 10 月 24 日进水日均流量超过 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、混合液浓度超过 $10\,000 \text{ mg/L}$,10 月 31 日混合液浓度达到 $12\,100 \text{ mg/L}$,此后保持在 $12\,000 \text{ mg/L}$ 以上直至 11 月 7 日,混合液中 MLVSS 占比均值在 0.33 左右,连续 15 d,在实际二沉池表面负荷与设计值一致,为 $0.92 \sim 1.20 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,污泥回流比约为 0.6 的条件下,4 座二沉池运行稳定。泥位计显示,4 座二沉池底积泥高度均在 $400 \sim 800 \text{ mm}$ 范围内变化。11 月 8 日起,关闭 1 座二沉池进出水,在表面负荷为 $1.23 \sim 1.60 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 的条件下,测试 3 座二沉池运行时其配水和泥位的变化情况。实际进水流量在

$5\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右,污泥回流量为 $2\,700 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右(回流比约为 0.5),部分二沉池周边配水槽前端出现壅水,水位与槽边持平,继续提高进水量进行测试,配水槽出现溢流。测试期间,日均进水流量在 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右,最高时流量控制在 $5\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ 以下,污泥回流量在 $2\,700 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右,混合液浓度控制在 $8\,000 \sim 12\,000 \text{ mg/L}$ 之间,MLVSS 占比在 0.34 左右,3 座二沉池基本可在配水槽高液位下稳定运行(运行时间为 28 d),满足检修要求。

由于 HPB 工艺生化池混合液浓度较高,引起二沉池固体通量提高。试验期间 4 座二沉池运行与 3 座二沉池运行时各自固体通量计算值详见表 2。其中,当混合液浓度超过 $10\,000 \text{ mg/L}$ 、进水流量在最高日均值时,无论 3 座或 4 座二沉池,以及在试验期间总平均值条件下运行 3 座二沉池,泥位均不能稳定,其间需及时加大排泥操作控制泥位维持运行。

表 2 二沉池固体通量负荷参数

Tab. 2 Solid flux load of secondary settling tank

项 目		试验期间日均值	最高日均值	最低日均值
进水流量/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$		10.14	10.60	9.07
混合液浓度/ $(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$		11.45	14.30	7.61
MLVSS 占比		0.32	0.40	0.28
4 座二沉池	污泥回流量/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	7.80	7.80	7.80
	固体通量/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1})$	453	580	283
3 座二沉池	污泥回流量/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	6.48	6.48	6.48
	固体通量/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1})$	559	718	348

注: 4 座二沉池运行时,污泥回流量按厂区回流泵最大能力 $78\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ ($3\,250 \text{ m}^3/\text{h}$) 左右计算;3 座二沉池运行时,在保证进水量情况下,受二沉池配水槽限制,污泥回流量仅为 $64\,800 \text{ m}^3/\text{d}$ ($2\,700 \text{ m}^3/\text{h}$)。

由于复合粉末载体的投加,使得污泥沉降性能大大提升,污泥固体通量负荷显著提高。根据表 2,HPB 工艺二沉池的固体通量负荷均超过现行《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)限值,试验期间,根据不同工况二沉池实际负荷计算表明,稳态工况条件下进水流量日均值在 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右,混合液浓度控制在 $12\,000 \text{ mg/L}$ 以下,固体通量值在 $450 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 左右。

3.5 剩余污泥产量

试验期间,HPB 工艺的产泥量和污泥含水率如图 7 所示,日均产泥量约为 $0.1313 \text{ kg}/\text{m}^3$,污泥含水率在 79% 左右。经称重计量及采用物料平衡法计算,在复合粉末载体回收系统稳定运行条件下,与试验之前的活性污泥法相比,增加排泥总质量与每日补充复合粉末载体质量 ($3 \sim 6 \text{ mg/L}$) 基本相当。实际运行数据显示,脱水污泥含水率略有减少,容积

变化可忽略。

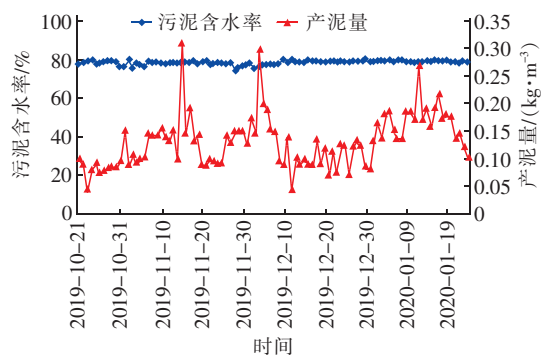


图 7 生化池稳定运行期间的产泥量和污泥含水率

Fig. 7 Sludge yield and water content of biological treatment tank during stable operation period

3.6 相关运行成本分析

与上年同期相比,HPB 工艺生产性试验正常运行后,按设计处理水量为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 计,复合粉

末载体补充投加量为5 mg/L,折算成本费用增加0.025元/m³;深度处理中聚合氯化铝(PAC)药耗降低,折算成本费用降低0.03元/m³;聚丙烯酰胺(PAM)药耗增加,折算成本费用增加0.023元/m³;新增搅拌电耗为0.045 kW·h/m³,折算成本费用增加0.032元/m³;投资折旧和财务成本不计,HPB工艺运行总成本费用仅增加0.05元/m³。

4 结论和建议

① HPB工艺生产性试验在不停水的情况下完成改造,未对该厂区正常生产造成不利影响。试验组处理水量日均值较试验前提高1倍或以上,总变化系数 $K_z \geq 1.3$,主要出水水质指标可稳定从国家一级A标准提升至湖南地标一级标准。在全年最低水温时段、MLSS $\leq 10\,000$ mg/L,以及所有脱氮相关因素均为全年最不利条件下,HPB工艺的TN平均去除率仍可维持在70%左右。

② 投加复合粉末载体,提升了混合液浓度,构建了附着生长与悬浮生长微生物“双泥”共生的微生物系统。增加好氧区低速搅拌,不仅有效防止载体沉积,也提高了溶解氧利用率。试验中证实,复合粉末载体附着微生物后,对水量切换后停用的西面生化池放空观察,仅看到有沉积,未见板结。采用水力旋分器,利用密度差,将复合粉末载体和附着微生物回收循环,并实时排出悬浮生长微生物及老化污泥,实现了“双泥龄”,强化了脱氮除磷效果。

③ 二沉池负荷测试表明,在进水流量均值为 10×10^4 m³/d左右、混合液浓度低于12 000 mg/L、混合液MLVSS占比均值为0.34左右、回流比为0.6的条件下,4座二沉池可稳定运行。短期维修1座二沉池,控制混合液浓度低于10 000 mg/L、进水流量在原设计范围、回流比约为0.5的条件下,亦可采用3座二沉池运行。与试验之前的活性污泥法相比,剩余污泥量略有增加。在不计投资折旧、财务成本,以及人员工资和维修成本不变的条件下,采用HPB工艺模拟提标、扩容运行的电费和药剂费成本仅增加0.05元/m³左右。

④ 建议:进一步优化复合粉末载体组成,探索HPB工艺高效脱氮除磷的微生物学机理;进一步开展载体回收系统水力学动态模拟,优化旋分器构造;

进一步降低HPB工艺设计混合液浓度至10 000 mg/L以下,考察系统运行情况,并开展后段二沉池固体通量负荷的标准化测试,为HPB工艺设计与操作的技术规程提供理论依据。

参考文献:

- [1] 牟悦,柴晓利,韩红波,等. 城镇污水处理厂提标改造HPB技术中试研究[C]//中国给水排水杂志社. 中国污水处理厂提标改造高级研讨会论文集. 天津:中国给水排水杂志社,2019.
MU Yue, CHAI Xiaoli, HAN Hongbo, et al. Pilot study on HPB technology for upgrading urban sewage treatment plant[C]//China Water & Wastewater. Proceedings of Advanced Symposium on Upgrading of Wastewater Treatment Plants in China. Tianjin: China Water & Wastewater, 2019 (in Chinese).
- [2] 罗固源,罗宁,吉芳英,等. 新型双泥生物反硝化除磷脱氮工艺[J]. 中国给水排水, 2002, 18(9): 4-7.
LUO Guyuan, LUO Ning, JI Fangying, et al. New biological denitrification process with two-sludge for nitrogen and phosphorus removal[J]. China Water & Wastewater, 2002, 18(9): 4-7 (in Chinese).
- [3] 杨雅琼,徐相龙,韦琦,等. 3种固定式填料在中试IFAS系统中的性能比较及菌群结构解析[J]. 环境工程学报, 2019, 13(6): 1338-1349.
YANG Yaqiong, XU Xianglong, WEI Qi, et al. Performance comparison and microbial community structure analysis of three fixed fillers in pilot IFAS system [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2019, 13(6): 1338-1349 (in Chinese).
- [4] 李超,田刚. IFAS中硝化细菌群落结构的演替与分析[J]. 中国给水排水, 2016, 32(7): 48-52.
LI Chao, TIAN gang. Succession and analysis of community structure of nitrifying bacteria in integrated fixed-film activated sludge system[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(7): 48-52 (in Chinese).

作者简介:柴晓利(1968—),男,山东滨州人,博士,教授,主要研究方向为水污染控制技术与水体生态修复技术。

E-mail: xlchai@tongji.edu.cn

收稿日期:2020-04-20

修回日期:2020-09-07

(编辑:刘贵春)