

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.06.016

BIOCOS工艺在污水处理厂改造中的应用及运行效果

刘 强

(大连市市政设计研究院有限责任公司, 辽宁 大连 116011)

摘 要: 大连某污水处理厂原采用恒水位SBR(CWSBR)工艺,设计规模为 $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,出水执行一级A标准。因近几年进水水质浓度明显高于原设计值,导致实际运行出水不达标。改造工程采用BIOCOS(生物联合系统)+高密度沉淀池深度处理工艺,在原CWSBR生化池内分组进行不停产改造。BIOCOS是一种改良式活性污泥系统,通过优化水力模型,利用内源反硝化技术达到高效脱氮。每个BIOCOS系统由一个P池(厌氧池)、一个B池(缺氧/好氧池)和两个SU池(沉淀循环池)组成。改造后一年多的实际运行效果表明,出水水质稳定达到并优于一级A标准。

关键词: 恒水位SBR; 生物联合系统; 内源反硝化

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)06-0081-05

Application and Operational Performance of Biological Combined System in Wastewater Treatment Plant Transformation

LIU Qiang

(Dalian Municipal Design & Research Institute Co. Ltd., Dalian 116011, China)

Abstract: The original process of a WWTP in Dalian was constant water level SBR (CWSBR) with a design scale of $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, and the effluent quality was required to meet first level A discharge standard. In recent years, pollutant concentrations in the influent are obviously higher than the original design values, resulting in the actual effluent quality cannot meet the discharge standard. Therefore, biological combined system (BIOCOS) and advanced treatment process of high-density sedimentation tank were adopted in the reconstruction project, and the biochemical tank of the original CWSBR was divided into groups without suspending the operation. BIOCOS is a modified activated sludge system that utilizes endogenous denitrification technology to achieve efficient nitrogen removal by optimizing the hydraulic models. Each BIOCOS system consists of a P tank (anaerobic tank), a B tank (anoxic/aerobic tank) and two SU tanks (sedimentation circulating tank). The actual operation of more than one year after the transformation shows that the effluent quality is stable and superior to first level A discharge standard.

Key words: constant water level SBR; biological combined system; endogenous denitrification

1 工程概况与运行中存在的问题

1.1 工程概况

大连某污水处理厂设计采用德国G. A. A公司的CWSBR工艺^[1](Constant Water Level SBR, 恒水位SBR),规模为 $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,于2008年建成投产^[2],设计出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》

(GB 18918—2002)一级A标准。原工艺流程:粗格栅→提升泵池→细格栅→曝气沉砂池→CWSBR生化池→紫外消毒渠→出水,无深度处理系统。CWSBR工艺通过两个柔性可移动水帆将生化池分隔为三个区:进水控制区、混合反应沉淀区和出水平衡区。其核心技术有两个:一是利用水帆(Hydrosail)的往

复运动使常规SBR的变水位运行改为恒水位运行；二是恒水位滗水器的使用,降低水力损失,减少能耗。2014年6月之前该厂运行正常,出水稳定达标,2014年6月之后频繁出现进水水质异常情况,虽然采取增加曝气量、提高生化池污泥浓度和增加投药量等措施有一定效果,但仍无法使出水稳定达标。因此,开展调研工作,收集整理了该厂近几年实测原水水质数据,包括:市环保局抽检数据166批次,市城建局抽检数据271批次,污水厂化验室日常自检数据1277批次。进水数据与原设计值对比,超标发生率见图1。可见,实际进水中TP超标发生率高达90%以上, $\text{NH}_3\text{-N}$ 超标发生率高达49.1%~83.5%,TN、SS和COD最高超标发生率分别为65%、33%、67%。

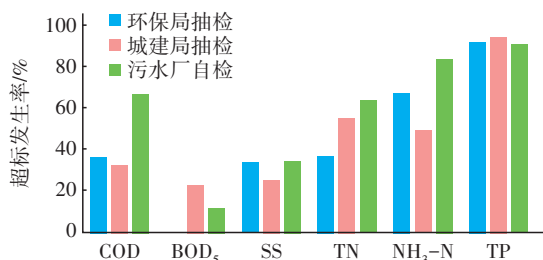


图1 原水主要污染物超标发生率

Fig.1 Probability of main pollutants exceeding standard in raw water

2014年6月—2017年6月出水水质超标较严重,而进水BOD₅经常低于设计水质,说明B/C和BOD₅/TN值较低,不利于生物脱氮除磷。将环保局、城建局及污水厂三个来源的原水实测数据按90%保证率排列取值可知,COD、NH₃-N、TN、总磷进水浓度分别是原设计值的1.6~1.7、1.8~2.6、1.5~2.1、3.1~4.8倍,原水超标频次和程度均较严重。根据原水数据及《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015),重新设计进水水质,见表1。

表1 达标改造工程设计进水水质

Tab.1 Design influent quality of the up to standard transformation project

项目	原设计值/(mg·L ⁻¹)	本次设计值/(mg·L ⁻¹)	变化幅度/%
COD	400	500	+25
BOD ₅	200	200	0
SS	220	350	+59
NH ₃ -N	30	45	+50
TN	48	70	+46
TP	3.0	8	+166

1.2 污水厂实际运行存在问题及改造难点

1.2.1 实际运行存在的问题

① 相对于原设计水质,CWSBR处理系统出水可稳定达标排放,但在实际进远远超设计值后,按表1所示重新设定的设计水质值,原CWSBR工艺技术提供方核算后确认已无法保证出水达标。

② 参考相关文献案例^[1-3],CWSBR工艺污水厂通常仅有二级处理,无深度处理保障环节。生化池沉淀效果不佳导致出水SS偏高时,TP随之偏高甚至超标。此外,在曝气沉砂池和生化池投加混凝剂会与原水中胶体态有机物发生反应,导致碳源损失,对脱氮不利。

③ 市政污水处理厂通常不设置事故池,但该厂汇水范围属城乡接合部,水量与水质变化波动大,因缺少事故池临时截留存储超标原水,只能被动接收超标污水。

1.2.2 改造难点分析

① 政府要求基本不停产改造,可停产天数总计不超7d,仅管线切换等情况可提出停产申请。

② 厂区无空地可用,只可在现状生化池内部改造。改造方案应符合不停产改造要求,维持生化池内部“田”字形布局,每次改造四格中的一格。

2 达标改造工程施工方案

2.1 总体方案

经综合比选,BIOCOS (Biological Combined System,生物联合系统)工艺满足不停产改造等要求,工程投资及运行费用亦低于MBR、MBBR等工艺方案,因此,提标改造工程采用BIOCOS工艺,设计内容如下:

① 将原CWSBR改造为BIOCOS工艺,即在维持原生化池本体及内部“田”字形分组不变前提下,将CWSBR生化池内部四格逐一改造为BIOCOS工艺;

② 拆除位于综合楼与鼓风机房及变电所之间的自备水源加压泵站,新建以高密度沉淀池工艺为核心的深度处理间;

③ 在综合楼南侧停车场位置新建全地下结构事故池,建成后池顶部恢复为停车场。

2.2 BIOCOS工艺简介

BIOCOS工艺由奥地利Ingerl教授发明,是一种改良式活性污泥系统,通过优化水力模型,利用内

源反硝化技术达到高效脱氮。每个 BIOCOS 系统由一个 P 池(厌氧池)、一个 B 池(缺氧/好氧池)和两个 SU 池(沉淀循环池)组成。其中 B 池为可根据水质调节好氧段与缺氧段运行时间比例,实现硝化及反硝化功能,SU 池用于污泥沉淀、污泥循环及内源反硝化脱氮。

BIOCOS 工艺简图如图 2 所示。

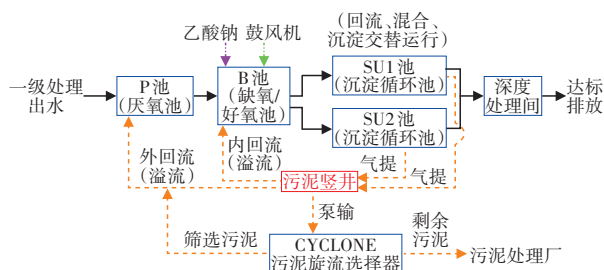


图 2 BIOCOS 工艺流程

Fig.2 BIOCOS process flow diagram

BIOCOS 运行方式:首先,原水连续流入 P 池,在 P 池与来自 SU 池的回流污泥混合,完成厌氧释磷过程后进入 B 池,在 B 池分不同时段进行缺氧及好氧两个反应过程,之后通过 B 池与 SU 池间的孔洞交替排入两个 SU 池中,在每个 SU 池依次进行回流(S 段)、混合(U 段)、沉淀(V 段)及出水(A 段)等四个过程(见图 3)。当 SU1 池进行污泥回流工序、泥水混合工序及沉淀工序时,SU2 池进行排水工序,两个 SU 池交叉运行,从而实现生化池整体上连续进水及出水。B 池在 SU 池的污泥回流及泥水混合工序停止曝气,在沉淀阶段可根据实际运行情况调整曝气时间。SU 池底部污泥经气提后溢流至 B 池和 P 池,少量污泥经潜污泵输送至 CYCLONE(污泥旋流选择器)筛选,密度低、沉降性能较差的污泥作为剩余污泥排除,沉降性能好的污泥被旋流截留后回流至 P 池。回流污泥经 CYCLONE 筛选处理有助于维持较高污泥浓度和污泥活性。污泥回流及 SU 池泥水混合的动力由曝气风机提供,省去污泥回流泵及搅拌机。

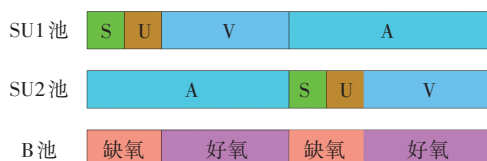


图 3 BIOCOS 工艺运行时序

Fig.3 BIOCOS process operation sequence

3 达标改造工程设计

3.1 CWSBR 生化池改造

原 CWSBR 生化池平面尺寸为 78.4 m×79.2 m,有效水深 6.5 m,总有效容积 39 546 m³,内部以田字格形式分隔为 4 组,单格平面尺寸 39 m×39 m。改造工程首先拆除每组属于原 CWSBR 系统的水帆、滗水器、搅拌机等设备,通过在池内浇筑钢筋混凝土隔墙,在每组内部新划分为 4 个区域:P 池、B 池、SU1 池和 SU2 池(见图 4)。按池体容积计算,总 HRT=21.4 h,其中 P 池、B 池、SU 池的 HRT 分别为 1.8、16.7、5.9 h。按运行周期计算,每组池体运行周期为 5 h,SU1 和 SU2 交替运行两次 2.5 h 的小周期,在每个 SU 池的 2.5 h 小周期中又进一步划分为 S 时段(污泥回流)0.15 h,U 时段(污泥混合)0.10 h,V 时段(静置沉淀)1 h,A 时段(底部进水、顶部排水)1.25 h。B 池按 2 个 2.5 h 小周期交替运行,在每个 2.5 h 内进一步划分为缺氧时段 0.8 h 和好氧时段 1.7 h。每组 B 池缺氧时段由 4 台潜水推流器完成搅拌,参数为 20 kPa、2.3 kW。设计总泥龄 13.6 d,MLSS=5.9 g/L,B 池硝化负荷为 0.025 kgNH₃-N/(kgMLSS·d)。B 池缺氧时段和 SU 池的混合段(U 段)、沉淀段(V 段)共同完成反硝化,反硝化负荷分别为 0.021、0.009 kgNO₃⁻-N/(kgMLSS·d),两者分别承担反硝化总量的 63% 和 37%。SU 池底部污泥以气提方式提升至污泥竖井后大部分溢流入 B 池和 P 池,设计回流比分别为 300% 和 100%,通过调节气提风量控制回流比;小部分污泥泵送至 CYCLONE 进行旋流筛分,顶部低密度污泥作为剩余污泥排出生化池,底部高密度污泥回流至 P 池。

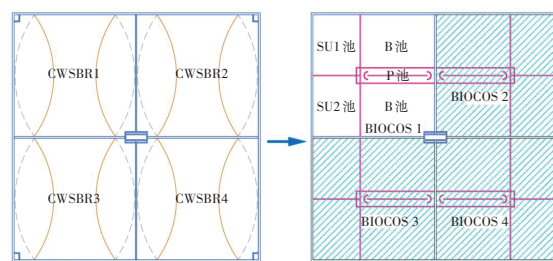


图 4 CWSBR 工艺改造为 BIOCOS 工艺方案示意

Fig.4 Schematic diagram of plane transformation scheme from CWSBR process to BIOCOS process

3.2 新建深度处理间

深度处理间采用高密度沉淀池工艺。原水 TP 设计值为 8 mg/L,经 BIOCOS 可去除 2.5 mg/L,因此

进入深度处理系统的TP设计值为5.5 mg/L,TP去除量按5.2 mg/L设计(在一级A标准0.5 mg/L基础上富余0.2 mg/L)。新建高密度沉淀池1座,内部分为2组,混合池和混凝池HRT分别为1.8、11.5 min(按峰值水量计,下同),斜管沉淀表面负荷为12.2 m³/(m²·h)。主要设备:混合池搅拌机2台,5.5 kW;混凝搅拌机4台,7.5 kW;刮泥机2台, $D=10$ m, $N=1.1$ kW;斜管填料148 m³, $\varnothing 80$ mm $\times 1.5$ m;污泥回流泵,50 m³/h、100 kPa、3.7 kW;剩余污泥泵,15 m³/h、200 kPa、2.2 kW,均为2用2备。加药间及储药间建于深度处理间内部,药剂包括三氯化铁(28%液体)、PAM(固体)和乙酸钠(25%液体)。三氯化铁加药系统包括:三氯化铁储罐,30 m³,2台,设计储药时间15 d;三氯化铁加药泵,20 L/min、0.5 MPa、1.1 kW,2用1备。PAM加药系统包括:PAM自动溶药机1台,2 000 L/h,PAM加药泵2用1备,10 L/min、0.5 MPa、0.55 kW。因原水碳源不足,需补充碳源,按外加碳源反硝化去除15 mg/L的NO₃⁻-N,1 kg乙酸钠(纯)相当于0.6 kgCOD^[4]计算,并考虑一定安全余量后保守设计乙酸钠(25%溶液)总投加量为10.98

m³/d,通过总氮在线仪表实时调整乙酸钠加药量。乙酸钠加药系统包括:乙酸钠储罐1台,30 m³,设计储药时间5 d(考虑乙酸钠溶液存放水解问题);乙酸钠加药泵4用2备,10 L/min、0.5 MPa、0.55 kW。

3.3 新建事故池

新建事故池1座,为有盖全地下钢筋混凝土结构,建成后池顶恢复为停车场。事故池尺寸为22 m \times 16.6 m \times 8.5 m,有效容积2 740 m³,相当于平均流量下2.2 h水量;池底设穿孔曝气管防止底部淤积。主要设备:事故水泵1用1备,100 m³/h、170 kPa、7.5 kW。当检测到原水浓度突然增大或有可能危害生物处理系统时,将其切换排入事故水池,待水质恢复正常后再以低水量转输至污水处理系统进行处理,亦作为进水污染物超标取证之用。

4 实际运行效果与经济技术分析

本工程于2019年10月初完成环保验收,至今出水水质稳定优于一级A标准。2020年3月—2021年1月出水水质监测数据见表2。事故池约2~3个月运行1次,通过暂存严重超标原水,防止因进水超标而导致出水超标。

表2 实际运行出水水质监测数据

Tab.2 Actual effluent quality monitoring data

mg·L⁻¹

项目	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
COD	14	8	13	17	21	17	11	9	15	13	13
BOD ₅	1	0.6	1	<0.5	<0.5	1	1.6	0.7	<0.5	<0.5	0.8
SS	6	1.5	5	2	2	2	2	1	2	1	2
NH ₃ -N	0.06	0.91	0.42	0.36	1.04	0.63	0.09	0.09	0.19	1.4	0.1
TN	2.41	3.07	3.67	4.65	8.07	4.89	4.75	5.12	4.66	7.46	6.87
TP	0.21	0.11	0.12	0.11	0.12	0.14	0.11	0.13	0.08	0.08	0.11

本工程概算总投资0.55亿元,折合吨水投资1 833元/m³。按实际运行情况,改造后新增直接运行费用0.424元/m³,详见表3,主要包括新增的药剂

费、电费和人工费等三项(剩余污泥泵送至紧邻的污泥处理厂,全市污泥处理费由政府承担),占比分别为78.1%、13.6%和8.3%。

表3 新增吨水运行费用

Tab.3 New operating costs per ton

项目	数量	单价	吨水费用/(元·m ⁻³)	备注
三氯化铁	2.61 t/d	500 元/t	0.044	28% 液体
PAM(阴)	0.015 t/d	20 000 元/t	0.010	
乙酸钠	6.4 t/d	1 300 元/t	0.277	25% 液体
电费	3 162 kW·h/d	0.545 6 元/(kW·h)	0.058	大工业用电,不计基本费
人工费	8 人	131.51 元/工日	0.035	工资及福利按4.8万元/(人·a)计
合计			0.424	

电、药实际消耗量与本工程可研阶段计算消耗量对比见表4。可见,三氯化铁和乙酸钠加药量分

别减少了53.31%和41.71%[改造后实际运行水量为(2.8~3.1) $\times 10^4$ m³/d,基本处于满负荷运行,为方

便计算对比,按设计规模计算吨水费用]。三氯化铁加药量减少主要原因是设计阶段按原水 TP=8 mg/L 计算药量,而 2018 年后实际进水 TP 平均约 5 mg/L。外加碳源方面,设计阶段按无内源反硝化保守计算碳源药量,实际进水总氮浓度与设计值相近,根据进水 BOD₅/TN 比值及碳源实际投加量相对于理论值减少 40% 等数据,分析推断 BIOCOS 工艺 SU 池沉淀时段有内源反硝化发生,推测内源反硝化对总氮贡献率约 40%,与相关文献结论较一致^[5]。

表 4 实际消耗量与设计消耗量对比

Tab.4 Comparison between actual consumption and design consumption

项目	实际消耗量	设计消耗量	实际:设计/%
三氯化铁	2.61 t/d	5.59 t/d	46.69
PAM(阴)	0.015 t/d	0.015 t/d	100.00
乙酸钠	6.4 t/d	10.98 t/d	58.29
电耗	3 162 kW·h/d	3 655 kW·h/d	86.51

5 结语

① 本工程采用 BIOCOS 工艺在原 CWSBR 生化池内部进行不停产改造,出水稳定达到并优于一级 A 标准,此项目为 BIOCOS 工艺进一步推广提供了良好的业绩证明。

② BIOCOS 工艺构思独特且巧妙,通过空间与时间的协调耦合,实现了缺氧和好氧交替运行的生化反应池和恒水位循环沉淀池的结合,以及常规反硝化和内源反硝化的结合,在利用有限池容提高脱氮能力的同时节省了外加碳源。

③ BIOCOS 工艺采用气提进行污泥回流,客观上会有部分溶解氧带入回流污泥,对反硝化脱氮和污泥厌氧释磷有不利影响,但无需回流泵等设备,节省了设备购置费。

④ 本项目改造总投资 0.55 亿元,折合吨水投资 1 833 元/m³;改造后新增吨水处理直接费 0.424 元/m³。

参考文献:

- [1] 王德河,唐立军,沈小维,等. CWSBR 工艺处理市政污水工程的设计与运行[J]. 中国给水排水,2009,25(16):29-31,35.
WANG Dehe, TANG Lijun, SHEN Xiaowei, et al.

Design and operation of municipal sewage treatment engineering by CWSBR process [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(16): 29-31, 35(in Chinese).

- [2] 詹技灵,代文臣,李冰,等. CWSBR®工艺用于污水处理厂一级 A 升级改造[J]. 中国给水排水,2009,25(6):67-69.

ZHAN Jiling, DAI Wenchen, LI Bing, et al. Application of CWSBR® process to upgrading and reconstruction of WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(6): 67-69(in Chinese).

- [3] 孙巍,陈向明,杨威,等. CWSBR®工艺处理市政污水的工程分析[J]. 中国给水排水,2012,28(2):86-90.

SUN Wei, CHEN Xiangming, YANG Wei, et al. Analysis of municipal sewage treatment engineering by CWSBR® process [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(2): 86-90(in Chinese).

- [4] 杨敏,孙永利,郑兴灿,等. 不同外加碳源的反硝化效能与技术经济性分析[J]. 给水排水,2010,36(11):125-128.

YANG Min, SUN Yongli, ZHENG Xingcan, et al. Denitrification efficiency and techno-economic analysis of different exotic additional carbon source [J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(11): 125-128(in Chinese).

- [5] 田敏,崔涛,吕恺,等. 西安市第四污水处理厂 A²/O 工艺的脱氮性能评价[J]. 中国给水排水,2020,36(13):1-6.

TIAN Min, CUI Tao, LÜ Kai, et al. Denitrification performance evaluation of A²/O process in Xi'an fourth wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(13):1-6(in Chinese).

作者简介:刘强(1979—),男,山西长治人,硕士,正高级工程师,给排水专业总工,注册公用设备工程师(给水排水)、注册环保工程师、注册一级建造师、注册咨询工程师,从事水污染控制领域设计和项目管理工作,近年负责或参与设计项目 200 余项,以第一发明人获得专利授权 10 项,发表科技论文 11 篇,获得国家、省级优秀勘察设计奖 10 项。

E-mail:13942693420@163.com

收稿日期:2021-03-10

修回日期:2021-05-07

(编辑:孔红春)