

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.24.014

EBIS工艺在全地下污水处理厂改造中的应用

曹 猛, 陈 海

(大连市市政设计研究院有限责任公司, 辽宁 大连 116011)

摘 要: 大连市某全地下污水处理厂处理规模为8 000 m³/d,原采用BF-A/O摇动床处理工艺,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。原BF-A/O工艺缺少厌氧段,无化学除磷措施,缺氧及好氧停留时间远小于设计停留时间,导致总磷及总氮超标,而现状全地下污水厂改造空间局促、改造周期较短且系统不能停车。本次选择的高效一体化生物处理系统(EBIS)工艺在原调节池、BF-A/O摇动床及消毒池体中进行改造,将原清水池改造为磁混凝系统,强化化学除磷,分组分期进行改造,对原土建池体充分利用,极大缩短了改造周期,同时保证系统不停车。试运行结果表明,经过EBIS-磁混凝系统处理后,出水水质稳定达到一级A标准。项目实际总投资为3 803.90万元,新增直接运行成本为0.40元/m³。

关键词: 一体化生物处理系统(EBIS); 全地下污水处理厂; 磁混凝; BF-A/O摇动床

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)24-0082-05

Application of EBIS Process in Reconstruction of Underground Sewage Treatment Plant

CAO Meng, CHEN Hai

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

Abstract: The treatment scale of an underground sewage treatment plant in Dalian is 8 000 m³/d. The original key process is BF-A/O shaking bed, and the effluent quality is required to meet the first level A limit specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). The original BF-A/O process lacks anaerobic section and chemical phosphorus removal measures, and the residence times of anoxic and aerobic tanks are far less than the designed values, resulting in the total phosphorus and total nitrogen exceeding the discharge standard. The space of the reconstruction project is limited, and the construction needs to be completed in a short period without suspending production. The original regulating tank, BF-A/O shaking bed and disinfection tank were transformed into the energy biochemical intelligent control system (EBIS) process, and the original clear water reservoir was transformed into a magnetic coagulation system to improve the chemical phosphorus removal. The project was carried out in different groups and stages, and the original civil structures were highly utilized, which greatly shortened the transformation period without suspending production. The trial operational results showed that the effluent quality met the first level A limit after being treated by the EBIS-magnetic coagulation system. The actual total investment of the project is 38.039 million yuan, and the direct operating cost is increased by 0.40 yuan/m³.

Key words: energy biochemical intelligent control system (EBIS); underground sewage treatment plant; magnetic coagulation; BF-A/O shaking bed

大连市某全地下污水处理厂建成运行于2009年,建设规模为8 000 m³/d,主要采用BF-A/O摇动床处理工艺,原设计出水水质为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。随着近几年经济不断发展,人口逐渐增长,该污水厂目前已经满负荷运行,由于原工艺设计缺陷,出水TN、TP经常超标,因此亟需进行整改。本项目通过技术经济比选,最终确定采用高效一体化生物处理系统(EBIS)-磁混凝处理工艺代替原有的BF-A/O摇动床处理工艺。本次改造工程于2022年8月初开工建设,2022年11月末通水运行,处理规模为8 000 m³/d,总投资为3 803.90万元,其中工程费用为3 190.67万元,单位处理成本为2.25元/m³,单位经营成本为1.63元/m³。

1 工程现状

1.1 现状工艺流程

本工程设计规模为8 000 m³/d,原采用BF-A/O摇动床处理工艺,具体工艺流程为:污水→粗细格栅→提升泵池→竖流沉砂池→调节池→BF-A/O摇动床→竖流沉淀池→砂滤罐过滤→二氧化氯消毒→排放。

BF-A/O摇动床技术是由日本NET株式会社组织研发的一种基于生物填料的生物膜污水处理方法,该工艺采用的BF填料由亲水性丙烯纤维构成,具有较大的孔隙率和比表面积,对微生物有较好的吸附性。填料本身呈放射性形状,在循环水流的作用下,产生一定程度的上下摇动,附着在填料上的生物膜会均匀脱落,从而保持很高的生物活性,故称之为“摇动床”生物膜反应器。该工艺具有节省空间、占地面积小等优点^[1],但是运行效果受制于填料性能。此外,该工艺一般设计池容较小,生物池水力停留时间较短。

1.2 现状水质分析

选取2019年1月—2021年11月共计1 001组进水水质数据进行水质分析。剔除异常值后,得到865组有效数据,分别按时间序列和90%保证率进行分析,并将此作为本次改造设计进水值,现状及本次改造出水水质均执行一级A标准,具体如表1所示。可知,实际进水指标较原设计值均超标,比较严重的是COD、BOD₅、TN、TP等4项,其中超标最严重的是TP。出水均值虽然达标,但TN、TP部分数

值超标,导致二者的达标率分别为70%、66%左右,超标严重。

表1 进、出水水质

Tab.1 Influent and effluent quality mg·L⁻¹

项 目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
原设计进水	300	150	200	30	35	3
90%保证率进水	530	223	221	31	57	8.7
现状出水平均值	32	7	8	3.1	14.6	0.48
设计出水(一级A)	≤50	≤10	≤10	≤5(8)	≤15	≤0.5

1.3 现状问题及重难点分析

结合本工程现状工艺流程、水质以及污水厂实际运行情况分析,目前工艺存在以下问题:

① 实际进水水质较原设计值相差较大,导致在原设计工艺下出水无法稳定达到一级A标准。

② BF-A/O摇动床工艺实际停留时间较短,缺氧区及好氧区停留时间均为2.44 h,BF-滤池为0.77 h,池容小,不满足反硝化脱氮所需池容要求。

③ BF-A/O摇动床没有专门的厌氧段,整个工艺后端又缺少深度处理系统,生物除磷能力有限^[2],强化化学除磷能力不足,因此出水TP超标严重。

④ BF-A/O摇动床生物填料的亲水性较差,生物附着能力不理想,生物活性较差。因此在实际运行过程中,平均污泥浓度仅为2.65 g/L,难以达到原设计4.00 g/L的要求。

本项目为全地下污水厂,且位于小学操场下方,为不影响正常教学秩序,只能在寒暑假进行设备安装及土建改造,且只能利用原有土建池体进行改造。本项目要求设备不停车更换,且改造空间有限、改造周期短,综合改造难度非常大。

2 总体改造方案

2.1 总体改造思路

① 选择占地面积小的处理工艺,充分利用原有土建池体。

② 增加除磷区,延长缺氧区及好氧区的停留时间,同时强化化学除磷,确保TN、TP的处理效果。由于原设计无保温系统,因此应选择耐低温且脱氮能力强的工艺。

③ 尽可能创造低溶解氧条件,为同步硝化反硝化脱氮提供良好环境。

④ 本工程地下处理池体为对称布置,因此改造过程中分组进行一、二期改造,一期改造完成后

切换进水再进行二期工程,这样实现不停车改造。

根据脱氮除磷效果好、占地面积小、耐低温且同步硝化反硝化效果好、节能耐冲击强等特点,最终确定EBIS-磁混凝为本次改造选定的工艺。工程于2022年8月初开工建设,于2022年11月末通水运行,处理规模为8 000 m³/d。

2.2 设计工艺流程

本工程一级处理单元基本利旧,生物部分核心处理工艺采用EBIS工艺。EBIS是一种改良AO工艺^[3],由生物除磷区、循环推流区、低氧曝气区以及澄清区组成。污水经预处理后先进入EBIS系统的除磷区,其主要进行厌氧释磷并起到生物选择作用。之后进入循环推流区,通过改变好氧池末端空气推流器的气量来调整混合液回流比(通常为5~20)。当进水浓度较高时,空气推流器气量会增大,从而提高回流比,此过程为自动控制。除了稀释作用,循环推流区也具有反硝化脱氮功能。污水在推流区前端与空气推流器产生的大比例倍数循环泥水混合液迅速混合,在低氧环境下,利用微生物去除水中的COD、氨氮、总氮等。低氧曝气区在反应中利用智能溶氧控制系统调节鼓风机风量,使反应池内溶解氧维持在较低水平,实现同步硝化反硝化过程。与传统生物处理相比,EBIS生物池中的活性污泥颗粒小,污泥活性相对较低,异养菌生长缓慢;活性污泥外表面不易形成隔离膜,可与氧及可溶性有机物直接接触,实现氨氮的硝化;在低氧曝气池进口区,大量可溶性有机物可以在很短的时间、较小的反应区间内实现氧化降解;同时曝气池内的溶解氧也会被迅速消耗,因而有利于后续反硝化反应的彻底进行。曝气区出水进入澄清区实现泥水分离,EBIS澄清区一般采用带有污泥吹扫系统的斜管或斜板沉淀池,污泥负荷较普通斜管或斜板沉淀池更高,占地面积更小。

由于推流区与曝气区(分为A、B、C三部分)非紧邻池体,推流区末端通过管道与曝气区A连通,曝气区A通过管道与曝气区B连通,曝气区B和C通过池壁开孔连通,曝气区C通过管道与澄清区连通。澄清区通过溢流渠道进入中间水池,而后压力提升至磁混凝系统,磁混凝出水进入清水池(投加次氯酸钠),最终压力提升至设备间经紫外消毒后达标排放。以上连通管道均上下错位布置,避免形成短流。工艺流程见图1。

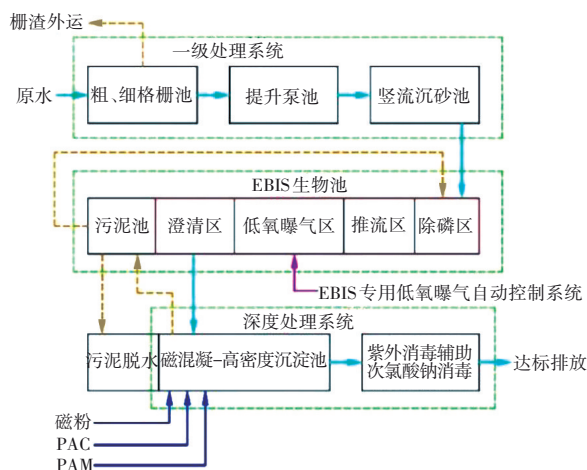


图1 EBIS工艺流程

Fig.1 Flow chart of EBIS process

本次采用的EBIS工艺具有节约占地、智能溶氧控制、节能、高效曝气、可实现不停车更换、大比例循环稀释、同步脱氮除磷效率高、污泥浓度高等多项优点。

3 改造工艺设计

3.1 EBIS生化池

原布局中调节池池容较大,停留时间为10 h左右,BF-A/O停留时间较短,消毒池和回用水池池容均较大。为保证生化停留时间,将原有第一段调节池改造为EBIS除磷区,原BF-A/O池改造为EBIS推流区,将药品制备间、第二段调节池、接触消毒池改为低氧曝气区,改造后EBIS系统总停留时间共计18.05 h。原沉淀池改为EBIS澄清区,最大表面负荷控制在0.95 m³/(m²·h)以下。EBIS配套的污泥池利旧,原回用水池改为磁混凝-高密度沉淀池。具体改造后布置如图2所示。

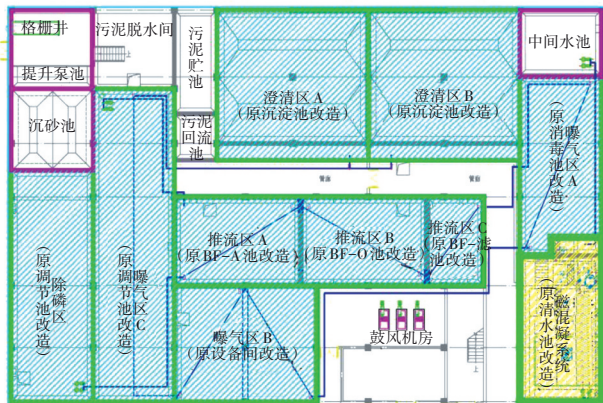


图2 EBIS工艺改造方案

Fig.2 Transformation scheme of EBIS process

EBIS系统设计流量为8 000 m³/d,变化系数为1.3;共2座,单座设计流量为4 000 m³/d。单座EBIS池分为除磷区、推流区、低氧曝气区、澄清区等几个区域。主要设计参数如下:①除磷区单座尺寸为17.75 m×6.15 m×5.5 m,有效水深为3.8 m,有效容积为415 m³,水力停留时间为2.49 h,混合液悬浮固体浓度(MLSS)为5 g/L,溶解氧<0.2 mg/L,搅拌强度为12 W/m³。池内设潜水泵3台,2用1库备。单台水泵 $Q=110\text{ m}^3/\text{h}$, $H=160\text{ kPa}$, $N=13\text{ kW}$ 。除磷区设置潜水搅拌机1台, $D=210\text{ mm}$, $n\leq 125\text{ r/min}$, $N=0.85\text{ kW}$ 。②推流区设置在低氧曝气区前端,共3格,设置潜水推流器。推流区单座尺寸为24 m×6.5 m×7.5 m,有效水深为6.35 m,水力停留时间为5.65 h,MLSS为5 g/L,溶解氧为0.2~0.5 mg/L,搅拌强度为10 W/m³。③低氧曝气区分3部分,曝气区A尺寸为13.55 m×6.05 m×5.9 m,有效水深为5.4 m;曝气区B尺寸为10.75 m×8.80 m×5.9 m,有效水深为5.4 m;曝气区C尺寸为24.10 m×5.95 m×5.9 m,有效水深为5.4 m。低氧曝气区水力停留时间为10 h,溶解氧控制在0.5 mg/L左右,氧传递效率≥25%,MLSS为5 g/L,污泥负荷为0.083 kgBOD₅/(kgMLSS·d),总氮负荷为0.022 kg/(kgMLSS·d),设计污泥龄为24.2 d。单座生物池设置内回流泵2台, $Q=434\text{ m}^3/\text{h}$, $H=60\text{ kPa}$, $N=15\text{ kW}$;设置污泥回流泵2台, $Q=110\text{ m}^3/\text{h}$, $H=100\text{ kPa}$, $N=15\text{ kW}$ 。低氧曝气区设置EBIS专用智能溶氧控制系统,其中曝气管道采用可提升曝气系统。④澄清区利用原沉淀池改造而成,共2格,采用钢筋混凝土结构。单格尺寸为11.4 m×9.96 m×6.5 m,有效水深为3.93 m,设计流量为217 m³/h。澄清区整体表面负荷为0.95 m³/(m²·h),污泥产量(以干泥计)约1.4 t/d,剩余污泥量约140 m³/d(含水率为99.2%)。单座澄清区设置中心导流筒4套,溢流堰4套,配套气提装置16套,设置浮渣吹扫装置1套。

本工程的低氧曝气系统采用独特的曝气技术,具体表现在以下几个方面:

① 大面积曝气方式。普通工艺曝气管或曝气盘的布置间距为100 cm,EBIS系统相邻曝气软管之间的距离只有10~15 cm,均匀敷设在池底,实现无死角曝气。

② 低通气量。EBIS系统曝气软管的通气量只有0.5~1.0 m³/(m·h),国家住房和城乡建设部给

排水设备检验中心试验表明,EBIS系统曝气的气泡上升速度只有0.4~0.6 m/s(常规曝气器的气泡上升速度约1.0 m/s),延长了气泡在水中的停留时间,大大提高了氧传递效率。

③ 微混合环境。气泡上升速度慢且均匀,为微生物、水中污染有机物以及气泡创造了一个微混合的环境,使得微生物在生长过程中更容易获得氧及污染物,提高生物降解效率。

④ 自清洗功能。EBIS的曝气系统可以通过阀门切换来清洗曝气软管,保证了曝气软管在长时间使用过程中无堵塞,延长了其使用寿命。

3.2 磁混凝系统

磁混凝工艺是在加砂沉淀池的基础上,采用磁粉替代砂粒。微小的磁粉(<100 μm)作为沉淀体会析出晶核,其与水中胶体颗粒很容易碰撞脱稳而形成絮体,使得悬浮物去除效率大为提高^[4];同时由于磁粉密度>6.0 t/m³,因而絮体密度远大于常规混凝絮体,沉淀速度也大幅提高。

EBIS生物池的处理出水通过中间水池提升至磁混凝系统。经磁混凝系统的混合池、加载池、絮凝池、高密度沉淀池,再通过紫外+次氯酸钠辅助消毒后,最终达标出水。磁混凝系统的主要功能是对EBIS出水中未达到一级A的SS和TP进行处理,使之达标。本单元设计SS进水浓度为20 mg/L,TP进水浓度为5.18 mg/L(生物除磷去除3.02 mg/L)。

磁混凝系统设计流量为433 m³/h,总变化系数为1.30,分两组运行。单组尺寸为13.56 m×12.30 m×6.85 m,混合池、加载池、絮凝池的停留时间分别为95、95、329 s,沉淀池最大表面负荷为15 m³/(m²·h)。磁混凝系统(单组)的主要设备如下:混合搅拌机1台,采用磁混凝专用桨叶, $D=1\ 260\text{ mm}$, $N=1.5\text{ kW}$;加载搅拌机1台,采用磁混凝专用桨叶, $D=1\ 260\text{ mm}$, $N=1.5\text{ kW}$;絮凝搅拌机1台,采用磁混凝专用桨叶, $D=2\ 600\text{ mm}$, $N=2.5\text{ kW}$ 。单组沉淀池设置刮泥机1台,中心传动,重载型, $N=0.37\text{ kW}$, $D=5.0\text{ m}$;设置斜管50 m²,斜板倾斜角度为60°,斜板 $L=1.5\text{ m}$, $H=1.3\text{ m}$,斜板间距为80 mm。比例分配器2台,流量比例调节范围为0~1,触液部分材质SS304;磁污泥剪切机2台,三通式, $N=0.75\text{ kW}$;磁粉分离机2台, $B\geq 0.5\text{ T}$, $N=1.5\text{ kW}$;二磁分离器2台, $B\geq 0.8\text{ T}$;磁粉定量投加机2台,0~50 kg可调;回转式鼓风机1台, $Q=5.11\text{ m}^3/\text{min}$, $H=49\text{ kPa}$, $N=7.5\text{ kW}$ 。

本工程加药间设置在东侧,与鼓风机房对称布置,加药间配置PAC、PAM以及次氯酸钠加药系统。其中磁混凝系统配套的PAC(纯度为29%)投加量为28.5 mg/L,日消耗量为786 kg。采用PAM为助凝剂,投加量为0.5 mg/L,日消耗量为4 kg。次氯酸钠仅在紫外消毒出现故障或出水水质不满足要求的情况下投加,设计投加量为800 kg/d,主要设备为次氯酸钠储罐和隔膜计量泵。

磁混凝出水经清水池提升泵接入管道式紫外消毒器,经消毒后达标排放。

4 运行效果及成本分析

本工程于2022年11月末通水试运行,最冷时段运行水温为9~10℃,在满负荷情况下,出水水质稳定达到设计标准。根据在线监测数据,平均进、出水水质见表2。可知,COD、BOD₅、SS、NH₃-N、TN、TP的实际去除率分别达到94.85%、97.03%、98.29%、95.00%、92.66%、98.02%,均高于设计值,出水水质稳定达到并优于一级A标准。NH₃-N和TN较高的去除率得益于EBIS工艺在冬季低温情况下也能够充分利用原水中碳源,同步进行硝化反硝化;另外,EBIS高浓度污泥对应生物量较大,可以弥补低温状态下硝化反硝化速率低的缺点。

表2 实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

mg·L⁻¹

项 目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
实际进水	486.40	202.00	221.00	28.00	54.50	8.09
实际出水	25.05	6.00	3.79	1.40	4.00	0.16

本工程总投资为3 803.90万元,其中工程费用为3 190.67万元,根据实际运行测算单位水处理成本为2.25元/m³,单位经营成本为1.63元/m³,新增直接运行成本为0.40元/m³。

5 结语

本改造工程针对采用BF-A/O摇动床工艺的全地下污水处理厂的水质特点和存在问题,通过现场实际调研和分析,确定采用EBIS-磁混凝系统为核心处理工艺。由试运行结果可知,系统出水水质稳定达到一级A标准。对于EBIS工艺,其污泥浓度高、占地面积小、溶解氧控制精准度高、节能降耗、

处理效果好,工艺改造周期短,能够在低温情况下高效利用原水中碳源,实现同步硝化反硝化,可为同类项目提供一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 王宪革,李文霞,孙挺. 低温条件下摇动床生物膜反应器处理生活污水的中试研究[J]. 环境工程学报, 2010, 4(6): 1267-1270.
WANG Xiange, LI Wenxia, SUN Ting. A pilot scale swimming-bed biofilm reactor used for domestic wastewater treatment under low temperature conditions [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2010, 4 (6): 1267-1270(in Chinese).
- [2] 刘强. BIOCOS工艺在污水处理厂改造中的应用及运行效果[J]. 中国给水排水, 2022, 38(6): 81-85.
LIU Qiang. Application and operational performance of biological combined system in wastewater treatment plant transformation [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(6): 81-85 (in Chinese).
- [3] 邵宇,闫鑫玉,周立波,等. EBIS(改良AO)工艺在石化废水处理上的研究及应用[J]. 环境与发展, 2019, 31(12): 69-72.
SHAO Yu, YAN Xinyu, ZHOU Libo, et al. Research and application of EBIS (improved AO) process in petrochemical waste water treatment [J]. Environment and Development, 2019, 31(12): 69-72 (in Chinese).
- [4] 郑志佳,连来喜,刘彦华,等. MBBR+磁混凝用于CAST工艺升级改造的效果分析[J]. 中国给水排水, 2020, 36(1): 7-17.
ZHENG Zhijia, LIAN Laixi, LIU Yanhua, et al. Upgrading and reconstruction of CAST process by MBBR and magnetic coagulation process [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(1): 7-17(in Chinese).

作者简介:曹猛(1986—),男,辽宁辽阳人,硕士,高级工程师,高级项目经理,注册环保工程师,注册公用设备工程师(给排水),注册咨询师,从事水污染控制领域、餐厨垃圾处理领域和项目管理工。

E-mail:dlszy_caomeng@126.com

收稿日期:2022-12-08

修回日期:2023-01-06

(编辑:沈靖怡)