

低温条件下微孔曝气氧化沟中试装置的调试及启动

李磊¹, 王社平²

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司 西安分公司, 陕西 西安 710018; 2. 西安市政设计研究院有限公司, 陕西 西安 710068)

摘要: 采用微孔曝气氧化沟中试装置处理实际污水处理厂沉砂池出水,研究了中试装置在低温条件下实现启动的可行性和可靠性。结果表明,中试装置抗冲击负荷能力较强,在低温条件下(13~18℃),控制好氧区DO浓度为0.5~1.0 mg/L,系统运行稳定;试验后期,中试装置出水指标除TP外其余均满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级A标准要求。因此,在低温条件下中试装置可通过降低系统曝气量实现启动。分析了除磷效果不佳的原因,主要与排泥不规律、接种污泥除磷能力较差、回流污泥中含有硝态氮等有关。

关键词: 微孔曝气氧化沟; 低温; 启动; 脱氮除磷

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)07-0007-06

Commissioning and Start-up of Pilot-scale Microporous Oxidation Ditch at Low Temperature

LI Lei¹, WANG She-ping²

(1. Branch of Xi'an, North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Xi'an 710018, China; 2. Xi'an Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Xi'an 710068, China)

Abstract: A pilot-scale microporous aeration oxidation ditch was applied to treat the effluent from a grit chamber of a wastewater treatment plant, and the feasibility and reliability of starting up the pilot plant at low temperature were investigated. The pilot plant had strong shock load resistance, and the system operated stably at low temperatures between 13 °C to 18 °C when maintaining dissolved oxygen concentration between 0.5 mg/L and 1.0 mg/L. Except TP, the effluent quality of the pilot plant reached the first level A criteria of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* during the late period of the test. The pilot plant could be started up by reducing the aeration rate at low temperature. The reason for poor phosphorus removal was mainly related to irregular sludge discharge, poor phosphorus removal capacity of inoculated sludge and nitrate in the reflux sludge.

Key words: microporous aeration oxidation ditch; low temperature; start-up; nitrogen and phosphorus removal

装置的调试及启动是新建污水处理厂正式运行前的重要阶段,调试主要是在通水条件下对各单体进行试运转,以确保土建施工及设备安装满足要求;启动主要是通过调整工艺参数,完成活性污泥的驯

化培养,实现污水处理厂的正常运行,并可积累运行经验,保证污水处理厂长期稳定运行。其中,温度是启动阶段的重要影响因素,温度越低,微生物生长速率越低,污泥活性越差,特别是温度<15℃时,硝化

菌和反硝化菌的活性下降,系统对氨氮的去除效果明显变差,脱氮效果不佳。因此,污水处理厂装置最适宜在常温下启动。但在我国北方地区,季节性温度变化较大,由于施工工期安排及设备检修等原因,污水处理厂装置有时需要在秋末冬初的低温条件下进行启动,如何保证低温下处理装置的正常启动运行至关重要。笔者对微孔曝气氧化沟中试装置进行了调试及启动试验,并对中试装置整体质量进行了评估及整改。同时研究了低温启动过程中,中试装置对污染物的去除效果,以确定中试装置在实际进水条件下能够正常运行的工艺参数。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

试验装置的总有效容积为 33.3 m^3 ,主要由厌氧选择池、微孔曝气氧化沟及终沉池3部分构成,各部分的有效容积之比为1:11:2。其中,氧化沟缺氧区和好氧区的有效容积之比为6:5。工艺流程如图1所示。试验期间,中试装置的进水流量 Q 为 $2.0 \text{ m}^3/\text{h}$,水力停留时间(HRT)为14.2 h,污泥龄(SRT)为20 d,污泥回流比为30%~50%。

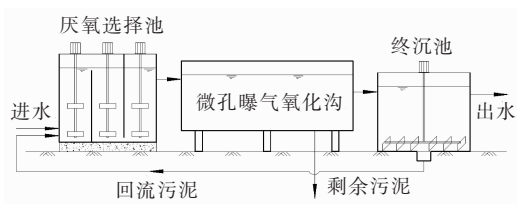


图1 氧化沟中试装置工艺流程

Fig. 1 Flow chart of pilot-scale oxidation ditch

1.2 工艺单元调试

厌氧选择池:通过调整搅拌机转速保证污泥不沉降及液面处不发生大气复氧现象,从而获得良好的厌氧环境,以利于聚磷菌释磷。

氧化沟:首先对曝气设备进行调试,曝气区采用微孔曝气器,如果一旦出现曝气不均现象,将直接影响系统氧的利用效率,因此重点对氧化沟曝气设备进行调试,以确保装置能获得均匀的曝气效果;之后调试推进器,以确保氧化沟内污泥可以获得足够的混合推动力,保证不沉降。

终沉池:通过调整搅拌机转速及刮泥设备保证池内正常的泥水分离,同时避免污泥上浮。

1.2.1 厌氧选择池

厌氧选择池长为2.1 m、宽为0.7 m、有效水深

为1.6 m,共分为3格,每格设置搅拌机。调试过程中取实际污水处理厂缺氧池活性污泥(实测 MLSS 为 4.6 g/L 、 SV_{30} 为65%)注入厌氧选择池,液位达到1.6 m时停止进泥,并开启搅拌器。当调整搅拌机转速为 25 r/min 时,液面出现明显的泥水分离现象,此时缓慢增大转速。当转速增大至 33.7 r/min 时,液面平稳,未发生泥水分离现象。一般认为保证污泥不沉降的最小流速为 0.3 m/s ,此时在不同液位深度布置流速测点,结果发现,厌氧选择池中污泥平均流速仅为 0.19 m/s ,距离池底越近流速越小,最小流速为 0.15 m/s ,最大流速为 0.25 m/s 。为判断该流速下是否发生污泥沉降,分别在距离池底60、100、140 cm处取样测量污泥沉降比,结果如图2所示。可知,活性污泥混合均匀,未发生污泥沉降。对 MLSS 进行测量,结果表明60、100和140 cm处的 MLSS 分别为 4.50 、 4.64 和 4.55 g/L 。同时,试验还对厌氧选择池液面下10 cm处的溶解氧浓度进行了测量,最大浓度 $<0.16 \text{ mg/L}$,说明该选择池在额定转速为 33.7 r/min 的搅拌条件下污泥混合均匀、水面平稳,基本没有出现大气复氧现象。

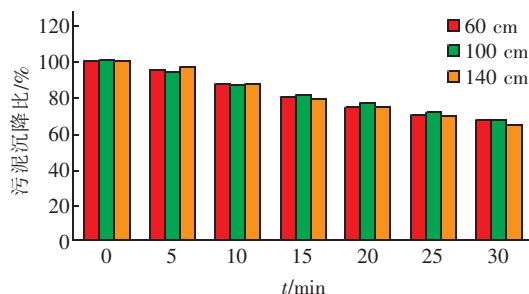


图2 不同液位下污泥沉降比的变化

Fig. 2 Change of sludge volume at different liquid levels

1.2.2 氧化沟

氧化沟分为缺氧区和好氧区两部分,其中缺氧区含5个廊道,单宽为0.4 m,共设2台潜水变频推进器;好氧区只有1个廊道,宽为1.2 m,底部设微孔曝气器。首先对曝气器进行调试,向氧化沟中先注入1/3的活性污泥,控制曝气量为 $8 \text{ m}^3/\text{h}$,此时依次对曝气器进行检验,确定每个曝气器正常均匀曝气后,将曝气量调整为 $10 \text{ m}^3/\text{h}$,氧化沟恢复进泥,注满后调整曝气量为 $15 \text{ m}^3/\text{h}$,并开启两台潜水推进器,单台推进器的功率为 0.85 kW 。运行稳定后测量沟内污泥的流速,沟内断面平均流速为 0.20 m/s ,沟底断面平均流速 $\geq 1.0 \text{ m/s}$,此时沟内污泥

混合均匀,未发现泥水分离现象。说明氧化沟在曝气和推进器的共同作用下,可以保证污泥不沉降。

1.2.3 终沉池

终沉池为竖流式沉淀池,半径为 1.0 m,有效水深为 1.5 m,池底设刮泥板,并配有搅拌电机,周边线速度为 4.8 m/min。调试开始后,实际污水处理厂好氧池末端污泥经进水管注入终沉池,控制流量为 2.0 m³/h,同时开启搅拌机。待注满后开启污泥回流泵,控制回流量为 1.0 m³/h。30 min 后泥水分离,清水区高度为 60 cm。但随后污泥开始上浮,终沉池出水中含有大量活性污泥,而此时实际污水厂二沉池运行一切正常。调查发现,实际污水厂二沉池刮泥机周边线速度仅为 1.7 m/min。分析认为,中试装置终沉池搅拌电机转速过快,导致污泥不易沉降,同时池底刮泥板存在盲区,导致污泥厌氧腐化上浮。因此,在终沉池搅拌电机前增设减速机,将刮泥板线速度降至 1.45 m/min,同时改进刮泥板,消除盲区,使终沉池出水水质达标,并能稳定运行。

1.3 试验方法

1.3.1 试验用水

氧化沟中试装置位于实际污水处理厂初沉池旁边,试验用水取自初沉池前配水渠(即沉砂池出水)。试验期间,污水处理厂运行稳定,中试装置进水 SS 为 150 ~ 550 mg/L,平均为 278 mg/L;COD 为 205 ~ 530 mg/L,平均为 480 mg/L;TN 为 50 ~ 75 mg/L,平均为 60.3 mg/L;NH₃-N 为 23 ~ 46.5 mg/L,平均为 32.8 mg/L;TP 为 3.4 ~ 7.5 mg/L,平均为 5.2 mg/L;PO₄³⁻-P 为 1.6 ~ 4.8 mg/L,平均为 3.85

mg/L。

1.3.2 检测项目及方法

溶解氧采用 HACH 溶氧仪测定,流速采用三维声学多普勒测速仪(ADV)测定,COD、NO₃⁻-N、TN、TP、NH₃-N、MLSS 等均按照国家标准方法测定。

2 结果与讨论

2.1 污泥培养分析

试验开始时间为秋末冬初,水温为 13 ~ 18 ℃,故采用实际污水处理厂回流污泥进行活性污泥培养。将接种污泥与试验用水以 1 : 2 的比例注入氧化沟,注满后开启推进器,调整曝气量为 8 m³/h,并持续曝气 1 h。之后调整曝气量为 0.5 m³/h,关闭推进器,1 h 后排出上清液。随后开始进行进水—曝气—沉淀—排水程序,反复运行 1 d 后调整中试装置进水为连续进水,此时进入污泥培养驯化期。

试验对氧化沟内污泥 MLSS、SVI 及终沉池泥位进行了历时监测,共分为 5 个阶段,结果如图 3 所示,各阶段的调控参数见表 1。

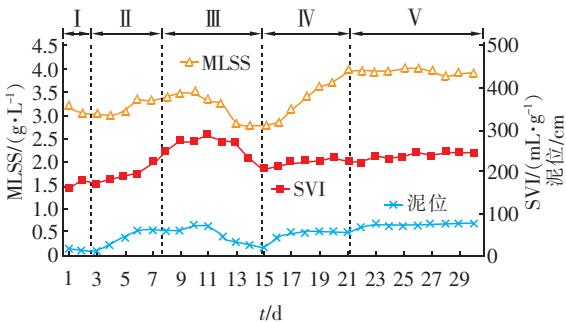


图 3 MLSS、SVI、泥位的变化

Fig. 3 Change of MLSS, SVI and sludge level

表 1 中试装置启动试验的调控参数

Tab. 1 Operational parameters of pilot plant at start-up stage

项 目	第 I 阶段	第 II 阶段	第 III 阶段	第 IV 阶段	第 V 阶段
HRT/h	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2
泥龄/d	14.2	停止排泥	20	停止排泥	20
DO/(mg · L ⁻¹)	0.5 ~ 1.0	0.5 ~ 1.0	0.5 ~ 1.0	0.5 ~ 1.0	0.5 ~ 1.0
MLSS/(g · L)	3.2 ~ 3.0	3.0 ~ 3.4	3.5 ~ 2.7	2.7 ~ 3.9	3.9 ~ 4.1
回流比/%	30	30	30	50	50
水温/℃	18 ~ 17	17 ~ 16	16 ~ 15	15 ~ 13	14 ~ 13

第 I 阶段为接种污泥适应期,此时中试装置每天排泥 2.0 m³,导致 MLSS 下降,故第 II 阶段停止排泥,MLSS 逐步回升。由于该阶段外界温度开始下降,同时试验在 DO 为 1.0 mg/L 左右的低氧条件下持续进行,导致 SVI 上升。第 III 阶段装置恢复排泥,调整排泥量为 1.4 m³/d,此时 SVI 继续上升,污泥

发生膨胀,此时终沉池泥位上升,但并未出现污泥上浮现象,说明此时的膨胀并未影响中试装置的运行。第 III 阶段后期由于进水 COD、BOD₅ 浓度下降,导致污泥中快速生长的菌群受到抑制,系统 MLSS 下降,同时引起 SVI 值降低。故第 IV 阶段停止排泥,待系统中污泥 MLSS 达到 3.9 g/L 后,系统恢复排泥。第

V阶段中 MLSS 稳定在 4.0 g/L 左右,SVI 稳定在 230 mL/g 左右,终沉池泥位稳定在 80 cm 左右,说明此时接种污泥已经适应新的环境,能够稳定生长,出水指标中除 TP 外,均满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 要求。

2.2 对污染物的去除效果

2.2.1 对 COD 的去除效果

中试装置启动期间对 COD 的去除效果见图 4。虽然整个试验期间进水 COD 波动较大,但中试装置出水 COD 稳定在 38 mg/L 左右,最大不超过 45 mg/L,尤其在后期,出水 COD 低至 30 mg/L。说明启动过程中低温并没有影响系统对 COD 的去除。分析原因,接种活性污泥中,大量世代时间短的异养菌能够快速适应新的环境,可以更好地降解 COD;同时,可在低温条件下维持一定浓度的 MLSS,也能保证中试装置对颗粒性 COD 的絮凝能力。

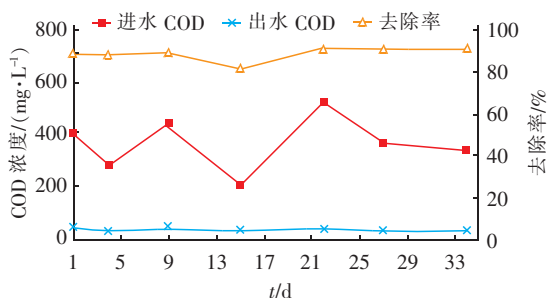


图4 中试装置启动期间 COD 的变化

Fig. 4 Change of COD during start-up period

2.2.2 对氨氮的去除效果

中试装置启动期间对氨氮的去除效果见图 5。中试装置对氨氮具有较高的去除率,出水氨氮能稳定在 1.0 mg/L 以下。说明装置启动期间对氨氮的去除效果不受低温的影响。分析原因,随着进水温度的逐渐下降,大量适应低温环境的化能自养硝化菌成为主体,保证了系统对氨氮的去除效果。同时,低温条件下化能自养硝化菌的能量需求也相应降低,很小的能量即可完成硝化反应。试验期间中试装置好氧区 DO 浓度仅维持在 0.5 ~ 1.0 mg/L,接种污泥在低氧条件下仍能高效去除氨氮。可见,中试装置较长的 HRT 能使系统在低氧条件下保持较强的硝化能力。分别提取污水厂好氧区污泥和中试装置好氧区污泥测定氨氧化速率,结果前者为 0.081 gNH₃ - N/(gVSS · d),后者为 0.077 gNH₃ - N/(gVSS · d),二者仅相差 5.2%,说明低氧条件下中

试装置活性污泥仍具有较高的氨氧化速率,从而保证出水氨氮稳定在 1.0 mg/L 以下。

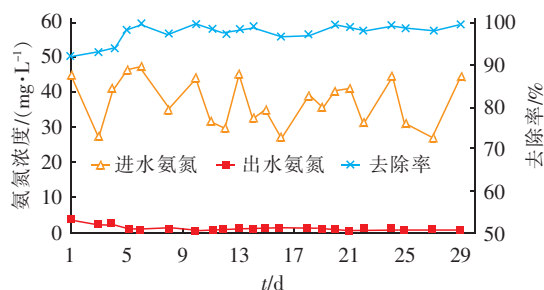


图5 中试装置启动期间氨氮的变化

Fig. 5 Change of NH₃ - N during start-up period

2.2.3 对 TN 的去除效果

中试装置启动期间对 TN 的去除效果见图 6。中试装置进水 TN 在 50 ~ 75 mg/L 之间波动,出水 TN 在 14 ~ 30 mg/L 之间波动,平均去除率仅为 65%。试验初期,中试装置对 TN 的去除能力较差,但后期出水 TN 低于 15 mg/L,满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 要求。可见,在低温条件下,试验初期的接种污泥中反硝化菌群适应能力较弱,生长受抑制,系统反硝化能力不强;随着试验的进行,反硝化菌群大量富集,低氧条件下系统缺氧段水力停留时间增加,反硝化时间延长,系统脱氮能力增强,同时进水 COD 浓度的增加为系统反硝化过程提供了充足的碳源。试验后期,终沉池泥位基本稳定在 80 cm 左右,底部泥区在缺氧条件下发生反硝化反应^[1],这在一定程度上降低了 TN 浓度。

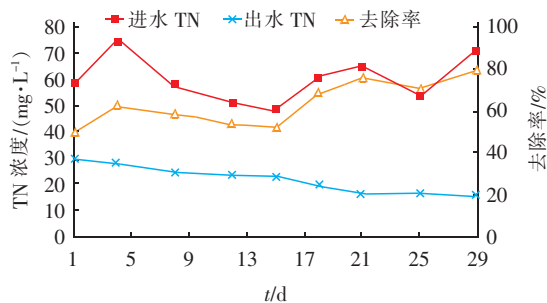


图6 中试装置启动期间 TN 的变化

Fig. 6 Change of TN during start-up period

2.2.4 对 TP 的去除效果

中试装置启动期间对 TP 的去除效果见图 7。中试装置对 TP 的去除率较低,平均去除率为 43%,出水 TP 基本在 2.0 mg/L 以上。说明低温启动期间系统对 TP 的去除效果较差。分析原因认为:①试验前期系统排泥不规律,甚至长达 11 d 没有排泥,

导致中试装置中 TP 富集,影响出水水质;②实际污水处理厂由于厌氧区水力停留时间短、厌氧环境差等原因导致除磷效果不佳^[2],使得本次接种污泥除磷能力较差;③试验前期中试装置反硝化能力较差,回流污泥中含有一定浓度的硝态氮,进入厌氧选择池后破坏厌氧环境,使得反硝化菌优先利用碳源,导致聚磷菌释磷过程受到抑制,进入好氧区后不能很好地吸磷,从而造成中试装置出水 TP 不达标;④低温条件下,聚磷菌活性的下降也不利于装置对 TP 的去除。试验期间,中试装置出水 TP 浓度整体呈下降趋势,说明脱氮能力的增强在一定程度上也促进了除磷能力的提高,后期进水 COD 的增加一定程度上也缓解了脱氮除磷对碳源需求的矛盾,保证了中试装置对 TP 和 TN 的去除效果。

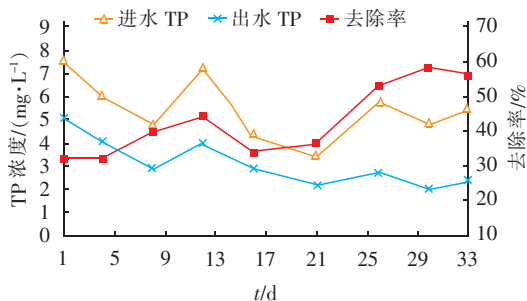


图7 中试装置启动期间 TP 的变化

Fig. 7 Change of TP during start-up period

2.3 低温启动强化措施

低温条件下,微生物新陈代谢减弱,活性污泥对污染物的去除效果远不如常温状态下的去除效果。试验装置启动期间,进水温度由 18 ℃ 下降至 13 ℃,虽然采用的是接种污泥培养方式,但启动时间长达 1 个月,可见低温阻碍了中试装置的顺利启动。

由于磷的去除可通过投加化学混凝剂实现,而氮的去除更多地需要通过生物脱氮实现,且温度又是脱氮过程中重要的环境条件之一,故装置在低温启动过程中主要针对脱氮采取强化措施。

2.3.1 降低溶解氧浓度

温度降低后,需要加大曝气量来保证系统的硝化效果^[3],但启动期间过大的曝气量不利于污泥絮体的形成。由于氧化沟特殊的推流状态,使其在低 DO 条件下能较好地发生同步硝化反硝化^[4]。考虑到中试装置采用微孔曝气,可产生直径约为 1 mm 的气泡,大大增加了氧的转移效率,保证系统碳化和

硝化效果,因此试验期间控制氧化沟曝气区末端 DO 为 0.5 ~ 1.0 mg/L,中试装置缺氧区与好氧区的体积比约为 3 : 2,整个氧化沟在低 DO 条件下运行,这在一定程度上保证了中试装置的成功启动。同时较低的曝气量有助于污泥形成较大絮体,利于同步硝化反硝化反应的发生。

2.3.2 延长污泥龄

低温条件下,硝化菌的活性及生长速率均会受到抑制,同时硝化菌世代周期较长,在短污泥龄下,硝化菌的数量难以保证。水温每下降 1 ℃,硝化菌比增长速率就将下降 10%。装置启动期间,进水温度由 18 ℃ 下降至 13 ℃,为保证系统的硝化效果,污泥龄控制为 20 d,以降低随排泥流失的硝化菌数量,提高装置中硝化菌的数量。

试验后期,中试装置出水指标中除 TP 外,其他水质指标均满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 要求,说明在低温、低 DO 条件下启动装置是可行的,但不建议污水处理厂选择低温条件下启动,应尽量在常温条件下启动。低温启动难度较大,在保证脱氮效果的同时,应格外关注除磷,必要时可增加化学除磷措施以获得较好的除磷效果。

3 结论

① 控制厌氧选择池的平均流速为 0.19 m/s、最小流速为 0.15 m/s,污泥混合均匀,水面平稳,基本没有出现大气复氧现象。控制氧化沟内断面平均流速为 0.20 m/s、沟底断面平均流速 ≥ 1.0 m/s,污泥混合均匀,未发现泥水分离现象。

② 启动试验处于秋末冬初,进水温度由 18 ℃ 降至 13 ℃,控制好氧区 DO 浓度为 0.5 ~ 1.0 mg/L,缺氧区与好氧区的体积比约为 3 : 2,中试装置可成功启动。中试装置进水流量为 2.0 m³/h、HRT 为 14.2 h、SRT 为 20 d、污泥回流比为 30% ~ 50%。

③ 在低温条件下,装置启动期间对 COD 和氨氮的去除效果基本不受影响,但对 TN、TP 的去除效果较差。试验通过降低溶解氧浓度、延长污泥龄等措施,最终获得了较好的 TN 去除效果。虽然对 TP 的去除效果较差,但整体趋势是变好的。

④ 低温条件下启动试验装置是可行的,可通过降低溶解氧、延长污泥龄、投加碳源等强化措施优先保证脱氮效果,同时可投加化学混凝剂来保证除磷效果。

(下转第 18 页)