

改良分段进水工艺处理低 C/N 城市污水的体积优化控制

陈 强¹, 王 伟², 汪传新³, 彭永臻¹

(1.哈尔滨工业大学城市水资源与水环境国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150090;

2.黑龙江工程学院土木与建筑工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150050;

3.广州市市政工程设计研究院, 广东 广州 510060)

摘 要:采用改良分段进水工艺处理低碳氮比 ($m(C)/m(N)<4$) 生活污水。在 HRT 为 10 h、污泥龄 (SRT) 为 10~15 d, 进水流量分配比为 4:3:3 的条件下, 通过调整厌氧、缺氧与好氧的体积分配, 考察系统对污染物的去除效果。结果表明, 随着 $V(\text{缺总})/V(\text{好总})$ 的增大, 碳源有效利用率会逐渐提高, 在 $V(\text{厌}):V(\text{缺总}):V(\text{好总})$ 为 4:12:6 时, 达到最高 66.2%, 此时系统除磷效果最好, 出水 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、TN 的质量浓度分别为 0.55、22.60 mg/L。在 $V(\text{厌}):V(\text{缺总}):V(\text{好总})$ 为 4:9:9 时, 脱氮效果最好, 出水 TN、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的质量浓度分别为 17.76、2.61 mg/L。综合考虑去除效果以及后续可优化空间, $V(\text{厌}):V(\text{缺总}):V(\text{好总})=4:9:9$ 为较优工况。

关键词:分段进水; 体积分配; 低碳氮比; 脱氮除磷

中图分类号: X799.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3770(2015)04-0071-006

目前, 面对低 C/N 生活污水, 传统工艺由于其自身形式的限制, 处理效果不佳^[1]。而改良分段进水工艺具有水力停留时间 (HRT) 短、平均污泥 (MLSS) 含量高、无需硝化液内回流等优势, 且可以最大程度的利用原水碳源, 因此适用于处理低 C/N 的生活污水^[2-4]。但由于该工艺具有一定的复杂性, 相关参数的优化控制成为工艺应用的难点。其中, 体积分配是影响系统优化运行的重要因素。各反应区体积比直接影响各反应区的 HRT, 进而影响处理效果。

关于分段进水的体积分配, 有研究根据原水水质、出水要求等确定缺氧与好氧体积比^[5]。而 Larrea 等则认为可以根据普通的前置反硝化工艺确定 $V(\text{好总})/V(\text{总})$ ^[6]; 王伟等采用 4 级 A/O 分段进水工艺, 提出了在进水高负荷与低负荷 2 种情况下的体积优化分配方法^[7]; 王淑莹等对改良分段进水工艺进行研究, 发现在 $V(\text{厌}):V(\text{缺总}):V(\text{好总})=1:3:6$ 时, 可以获得对 COD、TN、TP 的高效去除^[8]。本研究根据实际的处理效果辅以物料衡算的结果, 寻求特定水质条件下的

优化体积分配。

1 实验部分

1.1 实验装置

改良分段进水工艺如图 1 所示。

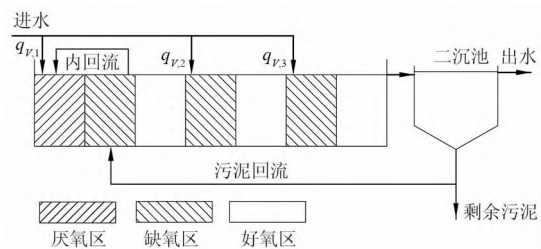


图 1 改良分段进水工艺原理

Fig.1 Schematic diagram of modified step feed process

工艺由原水水箱, 主体反应器与二沉池 3 部分串联组合而成。原水水箱由塑料制成, 容积为 300 L。主体反应器由有机玻璃制成, 容积为 100 L, 有效容积为 67 L, 共分 22 个隔室, 7 个反应区, 分别为厌氧区 (AN)、缺氧 1 区 (A1)、好氧 1 区 (O1)、缺氧 2

收稿日期: 2014-08-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51208185); 黑龙江省青年科学基金资助项目 (QC2011C018); 黑龙江省普通高等学校青年学术骨干支持计划项目 (1251G053)

作者简介: 陈 强 (1990—), 男, 硕士研究生, 研究方向为污水脱氮除磷工艺及工艺优化

联系电话: 18714514980; 电子邮件: chenjiyaa@sina.com

联系作者: 彭永臻, 教授; 电子邮件: pyz@bjut.edu.cn

区(A2)、好氧2区(O2)、缺氧3区(A3)、好氧3区(O3),不同隔室之间用可移动插板分隔,插板底部接有连通管。二沉池采用竖流式,容积为44 L。采用5台蠕动泵分别控制进水与污泥回流。采用电磁式空气压缩机曝气,粘砂块为微孔曝气器,采用空气流量计控制曝气量。采用搅拌器对厌氧区及缺氧区进行搅拌。

1.2 接种污泥与原水水质

接种污泥取自哈尔滨市某污水处理厂回流污泥,经15 d驯化培养,污泥活性良好。原水为哈尔滨某大学教工小区生活污水,COD为153.2~344.5 mg/L, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、TN、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的质量浓度分别为40.4~55.6、0~0.005、0~1.038、52.23~68.46、2.555~5.336 mg/L, $m(\text{C})/m(\text{N})$ 为2.52~5.81。

1.3 水质指标与分析方法

$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量,麝香草酚分光光度法; $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 含量, N -(1-萘基)-乙二胺分光光度法; $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量,纳氏试剂分光光度法;TN含量,采用TOC-VCPN TN测定仪测定; $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 含量,采用氯化亚锡分光光度法;COD,采用连华科技5B-3(C)型快速测定仪测定;MLSS含量,滤纸称量法;MLVSS含量,马弗炉灼烧法;pH、氧化还原电位(ORP)、DO含量和温度,由WTW multi 3420测定仪在线监测;污泥镜检,采用BX51型光学显微镜进行^[9]。

1.4 实验条件与运行方案

改良分段进水工艺在室温(23~28℃)下运行,实验期间HRT控制在10 h,相应进水体积流量 q_1 (总)为161 L/d,污泥停留时间(SRT)控制在10~15 d,污泥回流体积比与内回流体积比均为100%。好氧区DO的质量浓度控制在2 mg/L以上,厌氧区与缺氧区DO的质量浓度在0.1 mg/L以下。系统分3段,分别在厌氧区、缺氧1区、缺氧2区进水,进水体积比为4:3:3。在其他条件不变的前提下,通过可移动插板调节不同隔室体积,在4种不同厌氧、缺氧、好氧体积比工况下,考察系统对各污染物的去除效果,各阶段的具体参数见表1。

表1 实验运行工况及运行参数
Tab.1 Operation conditions and parameters

工况	$V(\text{AN}):V(\text{A1}):V(\text{O1}):V(\text{A2}):V(\text{O2}):V(\text{A3}):V(\text{O3})$	HRT/h		
		厌氧区	缺氧区	好氧区
1	4:2:4:2:4:2:4	1.266	1.332	3.192
2	4:3:5:2:3:2:3	1.266	1.517	3.027
3	4:3:3:3:3:3:3	1.266	1.998	2.394
4	4:4:2:4:2:4:2	1.266	2.665	1.596

2 结果与讨论

2.1 对 COD 去除效果的影响

4种工况条件下,系统进出水COD变化情况以及相应去除率见图2。

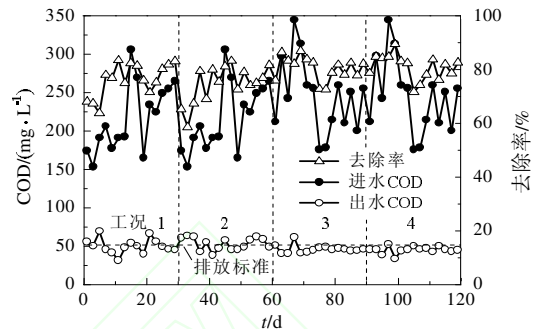


图2 不同工况下系统对 COD 的去除效果
Fig.2 COD removal efficiency of the system under different conditions

由图2可知,4种工况下,平均出水COD分别为49.89、52.98、46.08、44.86 mg/L,相应的去除率分别为76.2%、74.5%、80.5%、80.9%。对COD的去除进行物料衡算发现,各厌氧段和缺氧段COD去除量占进水COD比例分别为56.62%、55.41%、62.8%、66.2%,各好氧段COD去除量为进水COD的比例分别为25.23%、25.74%、19.2%、11.7%。由此可见,碳源的有效利用率远高于普通UCT工艺物料衡算得出的45.6%^[10];大部分碳源被用于释磷与反硝化作用,实现了碳源的高水平利用,与Ge等在实验中得到的62%±6%的碳源有效利用率相差不大^[11]。这主要归功于分段进水工艺的特有形式,在厌氧区或缺氧区进水,原水中碳源首先被用于释磷或反硝化作用,之后再流入好氧区,减少了在好氧区碳源的无效利用,并且减弱了普通好氧微生物与硝化细菌对氧气的竞争作用。

4种工况条件下,厌氧区HRT不变,缺氧区HRT依次增大,好氧区HRT依次减小,除工况2外,COD在厌氧区和缺氧区的去除率呈递增趋势,在好氧区去除率呈递减趋势,与HRT的变化趋势相同。分析认为,缺氧区HRT的增大,增加了相应隔室的反应时间,使微生物有更充分的时间利用进水中的有机物。与此同时,在曝气始终充足,其它条件未改变的情况下,出水COD亦逐渐降低,分析认为可能是缺氧区可以利用好氧区不易利用的有机物,因此随着缺氧区HRT的增大,出水COD会呈现逐级降低的趋势。

对于工况2,其COD去除率与碳源有效利用率均低于其他3种工况。分析原因,4种工况条件下,

缺氧区体积所占比例依次为 27.27%、31.82%、40.91%、54.54%，好氧区体积所占比例依次为 54.54%、50.00%、40.91%、27.27%。工况 2 相比于工况 1，其缺氧区所占比例增幅较小，好氧区所占比例降幅也较小，碳源有效利用率与工况 1 基本持平，但缺氧区体积增加所带来的有机物降解的增加不足以抵消好氧区体积减小所造成的有机物降解量的减少，因此，出水 COD 要稍高于工况 1。

4 种工况下，COD 去除率沿程变化如图 3 所示。

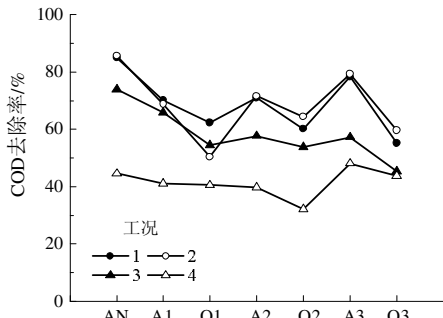


图 3 不同工况下 COD 去除率沿程变化

Fig.3 Variation along the law of COD removal under different conditions

由图 3 可知，COD 在系统内的变化，基本呈现出缺氧区增高，好氧区减少的趋势。但工况 4，缺氧 2 区 COD 要小于好氧 1 区 COD，可见足够的 HRT 不仅可以使微生物充分利用原水碳源，甚至可以使微生物发生内源反硝化作用，强化系统的脱氮除磷功能。

2.2 不同体积比对氮元素去除的影响

2.2.1 对硝化性能的影响

4 种工况条件下进出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量变化情况以及相应去除率图见 4。

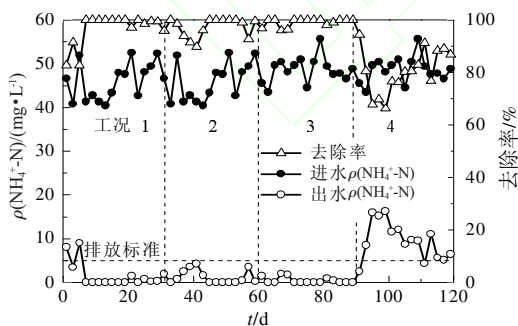


图 4 不同工况下系统对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除效果

Fig.4 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal efficiency of system under different conditions

由图 4 可知，4 种工况下出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的质量浓度依次为 1.55、1.26、0.45、9.52 mg/L。对于工况 1~3 随着好氧区 HRT 的减小，实际出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量相差不大，大部分情况下出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的质量浓度可以达到 0~0.5 mg/L。之所以工况 1 与工况 2 的出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 平均含量大于工况 3，主要原因是个别天数

由于曝气故障，导致出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的质量浓度较高，如第 1 天与第 3 天的 8.08 mg/L 和 9.01 mg/L（工况 1），第 39 天与第 41 天的 4.63 mg/L 和 4.21 mg/L（工况 2）。而工况 4，主要是好氧区 HRT 降至 1.596 h，停留时间太短，不足以满足硝化细菌对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的降解时间，导致出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量超出 GB 18918—2002 一级 A 排放要求^[12]。因此，从硝化的角度来看，工况 4 最为不利。

2.2.2 对反硝化性能的影响

4 种工况条件下，厌氧区和缺氧区反硝化脱氮所占比例及同步硝化反硝化（SND）情况见表 2。

表 2 4 种工况条件下的氮元素物料衡算结果

项目	工况 1		工况 2		工况 3		工况 4	
	$\Delta m^3 / (\text{g} \cdot \text{d}^{-1})$	比例 / %	$\Delta m / (\text{g} \cdot \text{d}^{-1})$	比例 / %	$\Delta m / (\text{g} \cdot \text{d}^{-1})$	比例 / %	$\Delta m / (\text{g} \cdot \text{d}^{-1})$	比例 / %
进水	9.73	100	9.73	100	9.05	100	8.88	100
反硝化 1 ¹⁾	3.53	36.30	2.65	27.30	4.12	45.50	4.80	54.20
反硝化 2 ²⁾	2.63	27.11	2.58	26.52	3.56	39.33	4.55	51.32
同步硝化反硝化	2.38	24.49	2.46	25.30	1.30	14.40	0.11	1.30
出水	2.37	24.38	2.99	30.70	2.37	26.20	2.68	30.20
同化作用	1.44	14.84	1.62	16.70	1.25	13.80	1.26	14.30

1) 包括厌氧区、缺氧区与二沉池的反硝化作用；

2) 包括厌氧区与缺氧的反硝化作用；

3) 指质量变化。

由表 2 可知，由于工况 1 与工况 2 的缺氧、好氧体积变化不明显，因此反硝化脱氮比例相差不大；而工况 3 与工况 4，缺氧区体积增幅较大。尽管在工况 4，好氧区 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 没有办法全部转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ，但由于受到进水碳源的限制，其转化产生的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在缺氧区依旧无法完全反硝化掉，因此并未影响厌氧区和缺氧区的反硝化率，厌氧区和缺氧区反硝化脱氮比例仍明显提高。这表明，缺氧区体积的增大，延长了缺氧区 HRT，为反硝化细菌提供了充足的反应时间，强化了反硝化效果。

由表 2 还可知，工况 1 与工况 2 同步硝化反硝化脱氮率相差不大，约占进水 TN 的 25% 左右。到工况 3 与工况 4，同步硝化反硝化效果逐步下降。目前关于同步硝化反硝化理论有宏观缺氧理论、微观缺氧理论和生物学理论^[13]。分析本实验结果，对于工况 1 和工况 2，由于好氧区体积较大，曝气头较小，存在曝气不均匀的现象，这在一定程度上会使好氧区局部出现 DO 含量较低或者缺氧的环境，而且还会导致生物絮体内部产生 DO 含量梯度，由外到内 DO 含量依次减小，在絮体内部亦会产生缺氧环境。而随着好氧体积减小，曝气不均匀的现象会有所改善，这

就使得同步硝化反硝化现象减弱。因此,从工况2到工况4,通过同步硝化反硝化作用去除的氮占TN的比例出现下降。

本研究由于4种工况条件下污泥含量相差不大,因此系统通过同化作用去除的氮含量相差不大,均占进水TN的15%左右。

2.2.3 对TN的去除性能

4种工况条件下,系统进出水TN及去除率变化情况见图5。

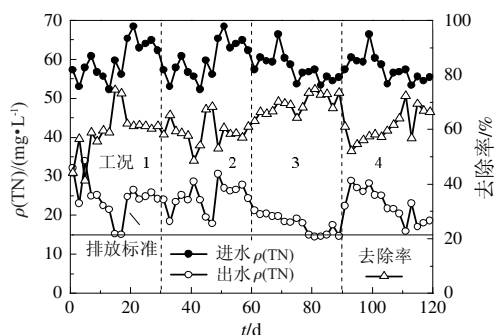


图5 不同工况下系统对TN的去除效果

Fig.5 TN removal efficiency of system under different conditions

由图5可知,4种工况条件下平均出水TN的质量浓度分别为24.22、24.49、17.76、22.60 mg/L,去除率分别为59.4%、59.1%、69.2%、60.9%。工况1~3,系统硝化性能均较好,因此TN去除率取决于系统反硝化效果,工况1与工况2系统反硝化效果大致相同,因此出水TN含量相差不大。而工况3,缺氧停留时间增加,系统反硝化性能明显改善,使得出水TN含量达到最低。而工况4,虽然反硝化作用去除的氮含量达到最大,但由于好氧区过小,硝化性能降低,且同步硝化反硝化效果也急剧下降,因此最后综合效果表现为出水TN含量明显大于工况3,TN去除率降低。

2.3 对 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 去除效果的影响

4种工况条件下,系统进出水 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 含量及去除率变化情况见图6。

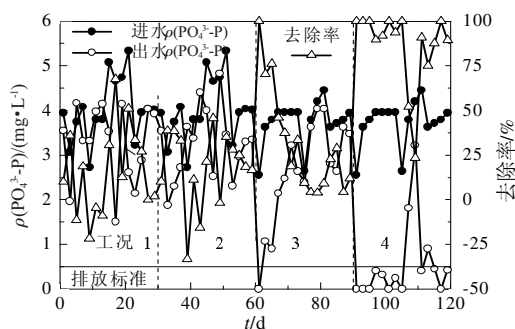


图6 不同工况下系统对 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的去除效果

Fig.6 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ removal efficiency of system under different conditions

由图6可知,平均出水 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的质量浓度分别为3.28、3.24、2.61、0.55 mg/L,去除率分别为16.2%、18.1%、31.8%、86.3%。与氮的去除情况相同,工况1与工况2的 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 去除率变化不大,而工况3与工况4的 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 去除率则明显提高。但整个实验期间,磷的去除效果不佳。4种工况条件下厌氧区反硝化去除的氮量分别占进水TN的9.0%、10.8%、7.2%、1.4%,分别占缺氧区反硝化除氮量的33.12%、40.76%、18.37%、2.68%。因此分析其原因是由于较多的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 从缺氧1区进入厌氧区,反硝化细菌会先于聚磷菌利用进水碳源进行反硝化作用使得用于厌氧释磷的碳源量较少,严重影响厌氧区释磷,进而影响系统对磷的去除效率。对于厌氧区反硝化量较低的工况4,其磷的去除效率最高,这说明,降低进入厌氧区硝酸盐氮的含量会改善系统除磷性能。

4种工况条件下, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 含量沿程变化见图7。

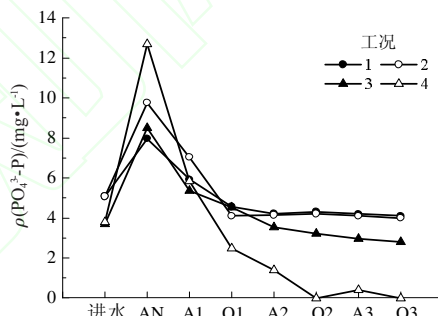


图7 不同工况下 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 含量沿程变化规律

Fig.7 Variation along the law of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ content under different

由图7可知,由于工况1与工况2厌氧区反硝化消耗了大部分进水碳源,厌氧区释磷现象较弱;随着厌氧区反硝化除氮消耗碳源量的减少,厌氧释磷现象增强,好氧吸磷能力也逐渐加强,同时出水 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 含量逐渐降低。实验中还发现,出水 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 含量有时会超过进水 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 含量。由于原水中磷元素包括溶解态和悬浮态2种形态,而不论溶解态还是悬浮态的磷,又可分为正磷酸盐、聚合磷酸盐和有机磷3种主要的化学状态,因此在系统没有对磷酸盐进行去除或去除率较低的情况下,有机磷转化为磷酸盐,未来得及反应便出现在出水中,因此会出现出水 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 含量高于进水 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 含量的情况。对比工况3与工况4的结果可以看出,通过调整流量分配比以及内回流比,在理论上应该可以大幅度提高系统磷酸盐去除率。

2.4 系统DO含量、pH、ORP的变化

不同体积比条件下,控制系统各反应区曝气量恒定。系统各反应区的DO含量、pH和ORP变化情

况分别见图 8 和图 9。

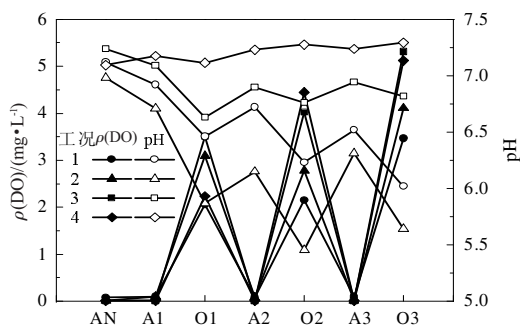


图 8 不同工况下 DO 含量和 pH 沿程变化

Fig.8 Variation along the law of DO content and pH under different conditions

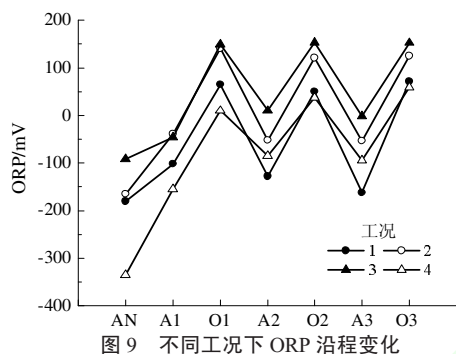


图 9 不同工况下 ORP 沿程变化

Fig.9 Variation along the law of ORP under different conditions

由图 8 可知,4 种工况条件下,厌氧区与缺氧区 DO 的质量浓度维持在 0.1 mg/L 以下,好氧区 DO 的质量浓度维持在 2 mg/L 以上,因此,整个实验过程 DO 含量不会成为系统去除效果的限制因素。

由图 8 还可知,工况 1 至工况 3 沿程 pH 变化情况相同,首段厌氧区-缺氧 1 区-好氧 1 区呈现 pH 递减的规律。在缺氧 1 区发生反硝化作用,产生碱度,在好氧 1 区发生硝化作用与吸磷作用,硝化作用消耗碱度,吸磷作用产生碱度,但硝化作用较强而吸磷作用较弱,因此呈现缺氧 1 区至好氧 1 区 pH 下降的现象,这与 Wang 等的好氧区 pH 继续下降的结果相符合^[4]。由于缺氧 1 区至厌氧区的内回流,以及厌氧区发生大量 NO_3^- -N 的反硝化作用以及释磷作用,虽然释磷作用会消耗碱度,但释磷作用较弱,因此整体仍表现为 pH 升高。好氧 1 区-缺氧 2 区-好氧 2 区-缺氧 3 区-好氧 3 区的 pH 变化规律为升高-降低-升高-降低,这主要是释磷吸磷作用均很微弱, pH 的变化规律主要由硝化反硝化作用来决定。

对于工况 4,除磷性能的改善,系统各反应区碱度的变化,主要由除磷过程来决定。首段厌氧区-缺氧区-好氧区的变化规律为先升高再降低,厌氧区 NO_3^- -N 发生反硝化作用产生碱度,同时又有释磷作用消耗碱度,但厌氧区反硝化量较少,而释磷量较

多,最后整体表现为 pH 低于缺氧 1 区。缺氧 1 区-好氧 1 区的 pH 变化规律同工况 1~工况 3。好氧 1 区-缺氧 2 区-好氧 2 区的 pH 的变化规律为升高-升高。缺氧 2 区由于反硝化作用产生碱度,因此 pH 高于好氧 1 区。至好氧 2 区,硝化作用较差而吸磷作用较强,吸磷作用产生的碱度要大于硝化作用消耗的碱度,导致好氧 2 区 pH 继续增大。好氧 2 区-缺氧 3 区-好氧 3 区的 pH 的变化规律为降低-升高,其中好氧 2 区的 pH 只比缺氧 3 区大 0.036,由工况 4 的 PO_4^{3-} -P 含量沿程变化可以发现,在缺氧 3 区发生了比较明显的释磷现象,加上原水的稀释作用,导致缺氧 3 区反硝化作用产生的碱度对 pH 的影响不占优势,使得缺氧 3 区的 pH 要略低于好氧 2 区。至好氧 3 区,由于较弱的硝化作用和较强的吸磷作用,导致 pH 相比缺氧 3 区有所上升。

由图 9 可知,4 种工况下 ORP 变化规律相同,沿程依次呈现升高-升高-降低-升高-降低-升高的变化规律。由于首段厌氧区 DO 含量与 NO_3^- -N 含量均最低,因此 ORP 也最低。缺氧区的 DO 与 NO_3^- -N 含量高于厌氧区而低于好氧区,因此 ORP 大于厌氧区小于好氧区,好氧区由于较高的 DO 含量与氧化态氮- NO_3^- -N 含量,因此 ORP 最高。

2.5 系统污泥的形态分析

4 种工况条件下,系统最后一段好氧区取样测得的 SVI 平均分别为 74.72、71.31、97.08、81.48 mL/g。由此可见系统污泥的沉降性能良好。主要是实验过程控制较高的 DO 含量,且系统交替的缺氧、好氧环境,形成了类似生物选择器的环境,有效地抑制了丝状菌的生长,防止污泥膨胀。40 倍镜检结果见图 10。

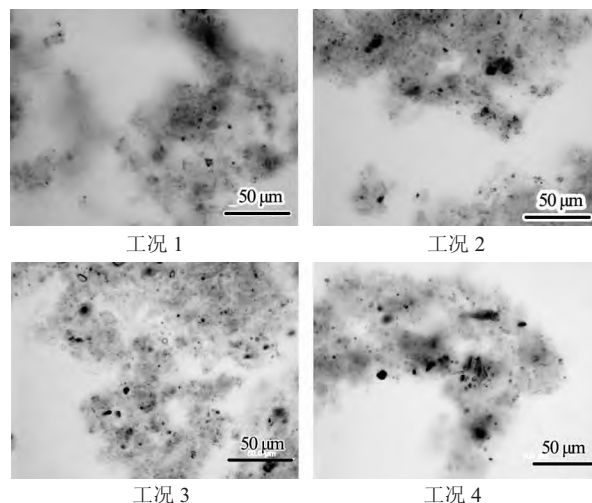


图 10 不同工况条件下好氧 3 区的污泥镜检

Fig.10 Microscopic examination of the sludge in third aerobic zone under different conditions

由图10可以看出,污泥絮体明显。

3 结 论

在进体积流量分配比为4:3:3时,通过增大缺氧区体积、减小好氧区体积的策略,可以提高有效碳源利用率,COD去除率会有一定的提高。

研究发现,体积比对改良分段进水工艺脱氮除磷效果具有重要影响。随着 $V(\text{缺总}):V(\text{好总})$ 的增大,磷酸盐去除率随之增大: $V(\text{缺总}):V(\text{好总})$ 从6:12增至12:6,磷酸盐去除率从16.2%增至86.3%。但TN去除率只在一定范围内随着 $V(\text{缺总}):V(\text{好总})$ 的增大而增大: $V(\text{缺总}):V(\text{好总})$ 从6:12增至9:9,TN去除率从59.4%增至69.2%,继续增大 $V(\text{缺总}):V(\text{好总})$ 至12:6,TN去除率降至60.9%。

在工况3的基础上,通过调整流量分配比与内回流比等参数,理论上可以在提高TN去除率的基础上,大幅度提高磷酸盐的去除率。因此,综合考虑,工况3为较优工况。

厌氧与交替的缺氧、好氧环境,可以有效抑制丝状菌的繁殖,体积比对系统污泥沉降性能影响不大。40倍镜检结果表明污泥絮体明显。

参考文献:

- [1] 曹贵华,黄勇,潘杨.常规生物脱氮除磷工艺中问题及对策[J].水处理技术,2009,35(3):102-106.
- [2] Cao G, Wang S, Peng Y, et al. Biological nutrient removal by applying modified four step-feed technology to treat weak wastewater[J]. Bioresource Technology,2013,128:604-611.
- [3] Peng Y, Ge S. Enhanced nutrient removal in three types of step feeding process from municipal wastewater[J].Bioresource Technology, 2011,102(11):6405-6413.
- [4] Zhu G, Peng Y, Zhai L, et al. Performance and optimization of biological nitrogen removal process enhanced by anoxic/oxic step feeding[J].Biochemical Engineering Journal,2009,43(3):280-287.
- [5] Gorgün E, Artan N, Orhon D, et al. Evaluation of nitrogen removal by step feeding in large treatment plants[J].Water Science and Technology,1996,34(1):253-260.
- [6] Larrea L, Larrea A, Ayesa E, et al. Development and verification of design and operation criteria for the step feed process with nitrogen removal[J].Water Science & Technology,2000,43(1):261-268.
- [7] 王伟,王淑莹,孙亚男,等.多段A/O工艺流量及体积分配方法与优化控制策略[J].北京工业大学学报,2009,35(2):240-245.
- [8] 王淑莹,曹旭,霍明昕,等.两种分段进水工艺脱氮除磷性能对比[J].北京工业大学学报,2012,38(11):704-1709.
- [9] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [10] 葛士建,彭永臻,张亮,等.改良UCT分段进水脱氮除磷工艺性能及物料平衡[J].化工学报,2010,61(4):1009-1017.
- [11] Ge S, Peng Y, Wang S, et al. Enhanced nutrient removal in a modified step feed process treating municipal wastewater with different inflow distribution ratios and nutrient ratios[J].Bioresource Technology, 2010,101(23):9012-9019.
- [12] GB 18918—2002 城镇污水处理厂污染物排放标准[S].
- [13] 曹贵华.改良A²O分段进水工艺处理低C/N市政废水的性能与优化控制[D].北京:北京工业大学,2013.
- [14] Wang X, Peng Y, Wang S, et al. Influence of wastewater composition on nitrogen and phosphorus removal and process control in A²O process[J].Bioprocess and Biosystems Engineering,2006,28(6):397-404.

VOLUME OPTIMIZATION CONTROL OF MODIFIED STEP FEED PROCESS IN TREATING LOW COD/TN MUNICIPAL SEWAGE

Chen Qiang¹, Wang Wei², Wang Chuanxin³, Peng Yongzhen¹

(1.State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;

2. College of Civil and Architectural Engineering, Heilongjiang Institute of Technology, Harbin 150050, China;

3.Guangzhou Municipal Engineering Design and Research Institute, Guangzhou 510060, China)

Abstract: By adjusting the volume distribution of anaerobic, anoxic and aerobic zone, the removal rate of pollutants using modified step feed process to treat low ($m(\text{C})/m(\text{N}) < 4$) municipal sewage was studied under the following conditions: hydraulic retention time (HRT) was 10 h, sludge retention time (SRT) was 10~15 d, and influent flow distribution ratio was 4:3:3. The results showed that effective carbon source utilization rate would gradually improve with an increase of the total volume ratio of anoxic and oxic zones. Under the condition of volume of anaerobic zone: when total volume ratio of anaerobic zone to anoxic zone to oxic zone equaled 4:12:6, effective carbon source utilization rate reached the highest point, i.e. 66.2%, and phosphorus removal rate of this system was the best, the mass concentration of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ and TN in the effluent reaching 0.55 mg/L and 22.60 mg/L, respectively. When total volume ratio of anaerobic zone to anoxic zone to oxic zone equaled 4:9:9, nitrogen removal effect was the best, the mass concentration of TN and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ in the effluent reaching 17.76 mg/L and 2.61 mg/L, respectively. Considering the removal and subsequent optimization space, the optimal condition was the ratio of volume of anaerobic zone to total volume of anoxic zone to total volume of oxic zone being 4:9:9.

Keywords: step feed; volume distribution; low COD/TN; nitrogen and phosphorus removal