

工艺与设备

厌氧-好氧工艺污泥膨胀及系统恢复试验研究

王俊安, 李冬, 张杰, 陶晓晓, 李占

(北京工业大学水质科学与水环境恢复工程北京市重点实验室, 北京 100124)

摘要: 在低温条件下, 观察了膨胀活性污泥, 通过调整厌氧-好氧反应器的运行工况, 解决了其低温膨胀问题, 并探讨了常温条件下系统恢复的途径和长期稳定运行的工况。结果表明, 低温膨胀污泥同时具有非丝状菌性和丝状菌性污泥膨胀的特点; 系统常温恢复时间比低温恢复时间可以缩短 5d, 好氧污泥较厌氧污泥更易于系统的恢复, 且初始污泥量越大恢复时间越短; 受季节性的影响, 反应器的运行工况应随水温的变化而及时调整。

关键词: 生物除磷; 污泥膨胀; 城市污水; 丝状菌; 低温

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2010)05-0066-04

Research on bulking sludge and system recovery of anaerobic-aerobic process

WANG Jun-an, LI Dong, ZHANG Jie, TAO Xiao-xiao, LI Zhan

(Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Under the condition of low temperature, after the state of activated bulking sludge observed, the problem of sludge bulking is solved through adjusting the running parameters of anaerobic-oxic reactor. Furthermore, the recovery approaches and steady and long-time running under the condition of room temperature are discussed. The result shows that the bulking sludge under the condition of low temperature has both the characteristics of filamentous bulking and non-filamentous bulking at the same time. The system's recovery time under the condition of room temperature is 5 days shorter than that under the lower temperature. The aerobic sludge is much easier than the anaerobic sludge for the system recovery, and the more of sludge the easier. Because of the effect of different seasons, the running parameters of the reactor should be adjusted in time along with the water temperature.

Key words: biological phosphorus removal; sludge bulking; municipal wastewater; filamentous bacteria; low temperature

厌氧/好氧(A/O)生物除磷与标准活性污泥法相比,在去除有机物的同时又可生物除磷,具有反应器体积小、除磷效果好、污泥沉降性能好和运行简单等优点,有取代标准活性污泥法而被广泛应用的趋势^[1-2]。丛广治等^[3]将大连开发区第一污水处理厂A²/O工艺原生产系统(污水处理能力 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)改造为A/O生物除磷系统后,经多年生产运行,效果良好。李捷等^[4]以北京某生活小区化粪池污水为实际用水,采用中试规模(处理量约 $5 \text{ m}^3/\text{d}$)的A/O反应器,分别考察了进水COD/TP(化学需氧量/总磷)和BOD(生物需氧量)负荷对除磷的影响及其最佳运行参数的优化、3种不同电子受体(O_2 、 NO_3^- -N、 NO_2^- -N)对除磷菌的影响以及 NO_2^- -N缺氧吸磷对好氧吸磷的影响等研究。

然而,由于城市污水具有水质复杂、受季节影响

波动较大等特点,在A/O生物除磷工艺的运行过程中,存在污泥膨胀(尤其是低温条件下)以及由此带来的系统崩溃等尚未解决的问题^[5],这些问题不仅严重影响了系统的除磷效果,而且对于有机物的去除也极不稳定。基于此,笔者以COD去除效果作为系统运行能力的主要指标,对低温污泥膨胀问题的解决方法进行了探索,通过对反应器的进水负荷、水力停留时间(HRT)、污泥龄(SRT)、溶氧(DO)、污泥回流比等运行工况进行调整,实现了系统的快速恢复,并确立了该系统稳定运行的最佳技术参数。

1 材料与方法

1.1 试验装置

A/O反应器规格为 $2.0 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$,沿池长 0.6 m 处布设穿孔隔板将其分为2段,前段

收稿日期:2010-01-05;修回日期:2010-03-31

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50878003);北京市自然科学基金资助项目(8092006);国家科技重大专项——水专项资助项目(2008ZX07208-003-003;2008ZX07420-004-BJUT001_2008ZX07208-005-003)

作者简介:王俊安(1981-),男,博士生, wangjunan001@163.com;张杰(1938-),男,中国工程院院士,主要从事水环境恢复工程理论与技术方面的研究。

设有搅拌机,属于厌氧段,后段为好氧段,沿池底每隔0.1 m设一不锈钢穿孔管,曝气量由气体流量计控制。沉淀区采用竖流式沉淀池,中心进水周边出水,直径0.5 m,高1.8 m。数据采集系统共连接有DO、氧化还原电位(ORP)、pH、电导率和COD/BOD₅ 5个探头,根据检测需要适时将其放入反应器不同的位置。试验装置照片如图1所示。

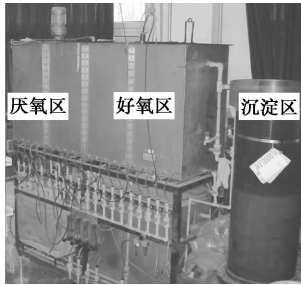


图1 A/O试验装置照片

1.2 试验用水与接种污泥

试验用水取自北京工业大学教工家属西区化粪池污水,具体水质见表1。

接种污泥取自北京高碑店污水处理厂(目前采用A²/O工艺)曝气池回流污泥。浓缩后污泥质量浓度(MLSS)约为8 000 mg/L,取回污泥在24 h内分3次加入A/O反应器的厌氧区。

1.3 分析方法

试验采用的分析方法均按中国国家统计局和美国环境总署发布的标准方法测定,具体方法见表2。

2 结果与讨论

2.1 低温污泥膨胀

A/O生物除磷系统在低温(8~15℃)运行过程中,出现了严重的污泥膨胀现象。从好氧区取污泥

表1 原水水质

项目	pH	水温/ ℃	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	TN	TP
			质量浓度/ mg·L ⁻¹	质量浓度/ mg·L ⁻¹	质量浓度/ mg·L ⁻¹	质量浓度/ mg·L ⁻¹	质量浓度/ mg·L ⁻¹	质量浓度/ mg·L ⁻¹	质量浓度/ mg·L ⁻¹	质量浓度/ mg·L ⁻¹
范围	7.0~8.0	8~26	200~500	100~300	≤200	50~90	0~0.5	0~0.5	55~95	3.5~8.0

表2 水质分析方法

分析项目	pH	温度	DO	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	TP	TN
分析方法	电化学 探头法	水温计法	便携式溶 解氧仪法	重铬 酸钾法	稀释 接种法	重量法	纳氏试 剂光度法	N-(1-萘 基)-乙二胺 光度法	麝香草酚 分光光度法	过硫酸钾 消解-钼锑抗 分光光度法	过硫酸钾 氧化-紫外 分光光度法

混合液,测得其污泥沉降比(SV_{30 min})为93%,污泥容积指数(SVI)为437 mL/g,超出污泥膨胀与否分界线的SVI值(150 mL/g)的1.91倍。

将1 L污泥混合液加入量筒进行宏观观察,从污泥沉降第0.5、1.5、5.5 h来看,污泥絮体结构松散,沉降速率缓慢,且在量筒器壁和水面表层能够观察到不易沉淀的凝胶状态的物质,初步判断上述膨胀现象与高黏性多糖类物质的形成有关,这应该属于非丝状菌性污泥膨胀的特点。

为了进一步探明低温污泥膨胀的原因,利用显微镜对污泥进行了微观分析,污泥中含有大量的丝状菌,这些丝状菌伸出污泥表面之外,使得絮体松散,沉淀性能恶化,最终导致了污泥体积膨胀,这应属于丝状菌性污泥膨胀的特点。另外,结果还表明,污泥中含有数量众多的盖虫,这些盖虫呈聚集状态,它们是由密集的丝状物质牵连在一起的,而关于盖虫大量出现的原因尚未探明,这可能与A/O生物除

磷系统的水质变化有关。

综合上述分析,A/O生物除磷系统低温污泥膨胀兼有非丝状菌性和丝状菌性污泥膨胀的特点。推断其形成原因主要跟水温有关,较低的水温使系统中微生物的活性降低,废水中含糖类碳水化合物较多时,微生物受温度影响来不及将有机物完全降解,而以多糖类高黏性物质贮存起来,并形成菌体外高黏性物质的覆盖和累积,同时丝状菌在系统不稳定的情况下得到了大量繁殖,从而导致了严重的活性污泥膨胀现象。

针对A/O生物除磷系统低温污泥膨胀的特点,首先对系统好氧区混合液进行了闷曝试验。关闭系统的进水和污泥回流阀门,调节曝气量,使好氧区混合液中的DO保持在饱和状态(8.0~9.5 mg/L),分别在闷曝开始(0 h)、第2 h和第4 h取样(分别标记为0[#]、1[#]、2[#]),同时测试其污泥沉降比,并记录从沉降开始第0.5、1.0、2.0、3.0、4.0 h时的

SV 值,其结果如表3所示。

表3 闷曝试验中的 SV 值 %

	取样时间				
	第 0.5 h	第 1 h	第 2 h	第 3 h	第 4 h
0 [#]	93	62	50	44	40
1 [#]	92	73	51	44	40
2 [#]	95	74	50	44	40

试验结果表明,0[#]、1[#]、2[#]各样品在各阶段的 SV 值均比较接近或相等,这说明短期闷曝对系统活性污泥的沉降性能影响不大。由表3可知,各样品的 SV 值在前2 h内变化较大,第2 h均能够达到50%左右,而后第2~4 h下降相对较慢,约占前2 h变化值的20%,这表明处于膨胀状态的活性污泥在前2 h的沉降效率相对较高,因此,通过增加活性污泥的沉淀时间,可以达到降低系统出水的 SS 值,避免因污泥流失而导致的系统恶化。鉴于此,考虑通过调整 A/O 反应器系统的运行参数来解决低温污泥膨胀的问题。

在水温约为 10℃ 的条件下,首先将反应器的进水阀关闭,污泥回流量调至 180 L/h,好氧区 DO 质量浓度为 9.2 mg/L,该工况条件下运行 2 h 后,污泥沉淀区泥水分离效果较之前运行工况 ($Q_{\text{进水}} = Q_{\text{污泥回流}} = 80 \text{ L/h}$) 明显有好转,同时污泥沉降速率也明显提高,取好氧区混合液测得 $SV_{30 \text{ min}} = 40\%$ 。之后分别将 $Q_{\text{进水}}$ 调至 60 L/h, $Q_{\text{污泥回流}}$ 调至 120 L/h,好氧区 DO 接近饱和状态,该工况下运行 4 h 后沉淀池泥水分离效果基本恢复到反应器正常运行时的状态,取样分析,经计算系统活性污泥的 SVI 已经降至 270 mL/g,较之前下降了 38%,这说明低温污泥膨胀问题可以通过调整反应器的运行工况得到快速而有效的解决。

2.2 系统恢复

为了保证 A/O 生物除磷反应器系统运行的稳定性,分别在低温 (8~15℃) 和常温 (15~20℃) 条件下对 A/O 生物除磷工艺进行了 A、B、C 3 组恢复对比试验。具体情况见表4。

表4 A/O 工艺恢复对比

编号	温度	恢复方式	初始污泥质量浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	恢复时间/d
A	低温	接种污泥	500	15
B	低温	厌氧污泥	1500	15
C	常温	接种污泥	500	10

表4中反应器的恢复时间是按照混合液悬浮固体 (MLSS) 浓度、COD 和 P 的去除效果综合考虑而

确定的。在 A 组反应器恢复之前,由于进入冬季,水温逐渐降低,A/O 反应器的运行工况未进行及时调整,却仍保持较高的进水负荷和排泥量。这时系统中的微生物受温度影响较大,其代谢能力明显下降,并导致了污泥膨胀的产生,出水水质含有大量的 SS,致使生物量大量流失。在出水流失生物量和排泥量不变的双重条件下,系统中的 MLSS 浓度不断降低,质量浓度最低降至 300 mg/L 以下。此时,系统对 COD 和 P 的去除率已经低于 10%,几乎接近瘫痪状态。在此情况下,对反应器进行了恢复试验。起初在其他运行工况不变的前提下,关闭排泥阀,降低进水流量,并增加污泥回流量,调整运行工况之后,污泥膨胀导致的生物量流失现象仍然十分严重,MLSS 浓度一直处在较低的水平,系统恢复困难。因此,考虑采用接种污泥恢复反应器的方式,接种污泥后,由于接种污泥中微生物的活性较高,系统 MLSS 增长明显,且污泥膨胀现象明显减小,5 d 之后,MLSS 质量浓度从接种初的 500 mg/L 增加到了 1 000 mg/L, COD 去除率大于 50%,此后,在确保 MLSS 逐渐增长的前提下,逐渐增加排泥量,15 d 之后,系统中的 MLSS 质量浓度基本维持在 2 000 mg/L 以上,对 COD 和 P 的去除率均大于 80%,认为低温条件下以接种污泥的方式实现了 A/O 生物除磷系统在较短时间内的恢复。

对于 B 组系统恢复试验之前,由于设备进水管路故障问题,A/O 生物除磷反应器停运 3 个月,系统中的污泥一直处于完全厌氧状态。恢复初期,水温正处于冬季低温状态,系统对 COD 和 P 的去除率约为 30%,考虑到系统中的 MLSS 浓度较高,且基本无污泥膨胀现象,故没有对其进行接种,仅通过调整进水流量、污泥回流量、排泥量和曝气量等设备运行工况来对系统进行恢复,恢复第 10 d,系统中的 MLSS 质量浓度达到了 3 000 mg/L, COD 去除率达到了 80%,在此基础上,逐渐增加排泥量,恢复第 15 d 之后,系统中的 MLSS 质量浓度能够维持在 2 000 mg/L 左右,对 COD 和 P 的去除率均大于 80%,故认为低温条件下以厌氧污泥实现了 A/O 生物除磷反应器在较短时间内的恢复。

C 组试验是在春季常温状态下进行的,系统恢复之前,受气温回升的影响,水温逐渐升高,水温的变化影响了 A/O 生物除磷系统中微生物的代谢活性,由于对系统运行工况调整的不利,系统长时间处于较低负荷运转的条件下,出现了污泥膨胀和上浮的现象,从而导致了大量生物量流失,致使 MLSS 质量浓度迅速降至 300 mg/L 以下, COD 和 P 的去除

率均小于10%。为了对系统进行快速恢复,在A组和B组试验结果的基础上,采用了接种污泥恢复的方式,接种之后,通过对进水流量、污泥回流量、排泥量和曝气量等工况进行联合调节,历经10d之后,系统恢复了正常的生物除磷功能。

上述A、B、C3组恢复对比试验结果表明,A/O生物除磷系统的恢复时间受温度影响较大,在恢复方式和初始污泥浓度相同的条件下,常温恢复时间比低温恢复时间可以缩短5d,约占低温总恢复时间的30%;在温度相同,恢复方式和初始污泥浓度都不同的情况下,均能够在相同的时间内对系统进行恢复,这进一步表明在合理调整反应器运行工况的前提下,好氧污泥较厌氧污泥更有利于系统的恢复,且初始污泥量越大将越节省恢复时间。

2.3 反应器的长期稳定运行

影响A/O生物除磷的因素较多,主要包括进水水质、污水温度、pH、DO、HRT、SRT、污泥回流比以及厌氧区与好氧区体积比等方面。实际生产工艺中,为了降低处理成本,不宜对进水水质、污水温度、pH等因素进行人为调整,而需要通过调整反应器的运行参数来达到生物除磷同时去除有机物的目的。本研究在常温条件下,通过调节曝气量控制好氧区DO质量浓度保持在1~3mg/L,主要通过调整进水流量和污泥回流量,对A/O反应器进行了长期运行试验。A/O反应器的运行工况以及系统进出水COD的变化分别如图2和图3所示。

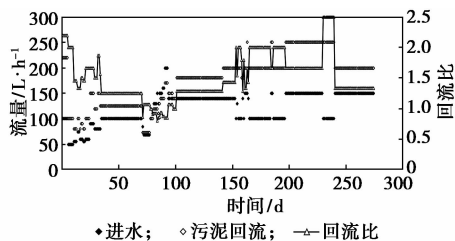


图2 A/O反应器运行工况调整

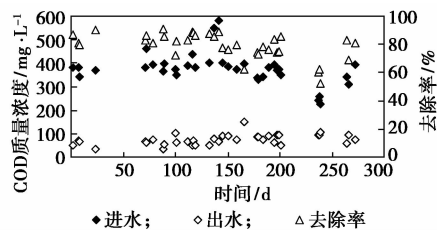


图3 A/O反应器COD处理效果

由图2和图3可知,在A/O反应器长期运行过程中,进水流量和污泥回流量分别在50~150L/h、70~250L/h运行时,污泥回流比保持在1~2.5,出水COD质量浓度一般不超过100mg/L,COD的平均去除率大于80%。

在长期运行经验基础上,首先确定了在低温8~15℃条件下A/O反应器的准佳运行参数: $Q_{\text{进水}}$ 为75~100L/h, $Q_{\text{回流污泥}}$ 为100~125L/h,适宜的污泥回流比为1.3, $Q_{\text{曝气量}}$ 为1.0~1.5m³/h,好氧区的DO质量浓度保持在1.0~2.0mg/L, $Q_{\text{排泥}}$ 为80~140L/d,为了达到除磷同时去除有机物,并避免硝化反应,将SRT控制在5d左右为宜。当水温变化至15~26℃时,应在上述运行参数基础之上,随温度的升高及时提高进水负荷,同时其他参数也应视反应器运行情况做相应的调整,长期运行结果表明,常温15~26℃条件下A/O反应器的准佳运行参数: $Q_{\text{进水}}$ 为100~200L/h, $Q_{\text{回流污泥}}$ 为100~200L/h,污泥回流比为0.8~1.2,好氧区的DO质量浓度保持在2.0~3.0mg/L, $Q_{\text{排泥}}$ 为100~200L/d,SRT控制在5d左右。

3 结论

(1)非丝状菌性和丝状菌性污泥膨胀共同构成A/O生物除磷系统低温污泥膨胀的特点,其形成原因主要跟水温有关。在较低水温条件下,不投加化学药剂,而仅通过降低进水负荷、提高好氧区的溶解氧和增加沉淀时间等途径可以快速有效地减缓活性污泥膨胀问题。

(2)温度对A/O生物除磷系统的恢复时间的影响也较大,在恢复方式和初始污泥浓度相同的条件下,常温恢复时间比低温恢复时间可以缩短5d;在温度相同,恢复方式和初始污泥浓度都不同的情况下,好氧污泥较厌氧污泥更有利于系统的恢复,且初始污泥量越大将越节省恢复时间。

(3)通过长期稳定运行试验,初步确定了低温条件下A/O反应器的主要运行参数:适宜的污泥回流比为1.3,好氧区的DO质量浓度保持在1.0~2.0mg/L,泥龄约为5d。常温条件下的主要运行参数:污泥回流比为0.8~1.2,好氧区的DO质量浓度保持在2.0~3.0mg/L,泥龄控制在5d左右。

参考文献

- [1] 戴镇生,张杰,余尔捷,等.厌氧-好氧活性污泥法的应用前景[J].中国给水排水,1994,10(4):35-37.
- [2] 丛广治,白羽,陈立学,等.大连开发区污水处理厂的生物除磷实践[J].中国给水排水,2004,20(1):74-77.
- [3] 丛广治.城市污水再生全流程技术研究与实践[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2003:22-46.
- [4] 李捷.厌氧/好氧-厌氧氨氧化工艺深度处理城市污水研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2005:32-50.
- [5] 吴昌永,彭永臻,王淑莹,等.A²/O工艺的污泥膨胀及污泥特性研究[J].中国给水排水,2008,24(23):33-39. ■