间歇式污水处理工艺池容利用率问题探讨

崔志峰[1]　宋英豪[1]　王凯军[2]　贾立敏[1]

(1 北京市环境保护科学研究院,北京　100037; 2 清华大学环境科学与工程系,北京　100084)

摘要　根据目前国内中小城镇污水处理工艺中间歇式运行工艺的特点,分别从曝气时间、曝气池容和污泥浓度三个方面分析池容利用率,提出了提高池容利用率的有效方法,为间歇式运行工艺降低投资和运行能耗提供解决思路,为中小城镇污水处理工艺选择提供参考。

关键词　池容利用率　间歇式　曝气时间　曝气池容　污泥浓度　交替式工艺

1　间歇式污水处理工艺概述

目前间歇式工艺与活性污泥法工艺、氧化沟工艺并称为我国中小城镇污水处理厂应用的三大主流工艺。间歇式工艺具有处理效率高、运行简便灵活等特点,是近年来城镇污水处理行业发展的热点。纵观国内各种间歇式工艺都各具特色:经典 SBR 工艺灵活简便,但间歇运行方式不能满足连续处理污水的要求;ICEAS 和 CASS 工艺通过在前端增设生物选择区或预反应区来达到连续处理的需要,但由于采用延时曝气方式,就损失了 SBR 工艺高效的特性;DAT-IAT 工艺将预反应区变为一个连续的活性污泥池;MSBR 和 UNITANK 工艺扩大连续曝气反应区,继续增大容积利用率,但同时也增加了各池间的污泥分布不均匀性问题。周律[1]在邯郸市东郊污水处理厂中三沟氧化沟工艺的测试中得出,三条沟污泥分布呈现严重的不均匀状态。依据工作状态而得出的参与工艺的污泥量系数为48%,这也意味着超过一半的污泥处于非工作状态。王凯军[1]提出了曝气沉淀一体化反应器池容利用率的概念,将容积、时间、污泥量以及设备等利用的效率综合在一起,反映出间歇式工艺的利用效率,见式(1)[1]。

$$f_a = \frac{\sum_{i=1}^{2} V_{si} X_{si} t_{si} + \sum_{i=1}^{n-2} V_{mi} X_{mi} t_{mi}}{\sum_{i=1}^{2} V_{si} X_{si} t \sum_{i=1}^{n-2} V_{mi} X_{mi} t} \qquad (1)$$

式中 X_{mi}、X_{s1}、X_{s2} ——中间曝气池,边池 1、2 参与反应的平均污泥浓度,mg/L;

t_{si}、t_{mi} 和 t ——边池、中间曝气池和一个周期的反应时间,h;

V_{si} ——边池的体积,m^3;

V_{mi} ——中间曝气池的体积,m^3;

n ——反应系统中反应池的数量。

由此可知,提高工艺的中间曝气池容、反应时间及污泥浓度都将会大大提高池容利用率,池容利用率表征出 SBR 工艺对反应器容积的利用效率、对反应时间的综合利用效率以及对污泥量的利用效率。综合反映出处于曝气状态微生物量与总微生物量(曝气与非曝气状态之和)之比(即工艺的处理效率),直接影响着工艺的投资和运行费用。

对于各类间歇式工艺,根据运行组合方式特点可将其分为两类,一类是单池充排式运行的 SBR 工艺,如传统SBR 工艺、ICEAS 工艺和CASS 工艺等;另一类是两池或两池以上交替式组合运行的 SBR 工艺,如 UNITANK、MSBR、DAT-IAT、三沟氧化沟以及新型 AICS 工艺等。针对这两大类工艺,从间歇式工艺的曝气时间、曝气池容和污泥浓度三方面来探讨池容利用率的问题。

2　曝气时间对池容利用率的影响

由前面的分析可知,池容利用率与曝气池容、反应时间和污泥量三个指标相关,这里我们首先假定曝气池容和污泥量不变,改变工艺的反应时间,从两类间歇式工艺分别进行探讨。

2.1　曝气时间对第一类间歇式工艺的影响

对于第一类间歇式工艺(单池运行充排式 SBR 工艺),假设池容不变,如果周期变换频繁,则沉淀和滗水的时间在整个周期中的比例就会增加,而曝气反应时间会缩短,实际上池容利用率也会降低,如图 1 所示(假设 HRT = 24 h,沉淀和滗水时间为 2 h)。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

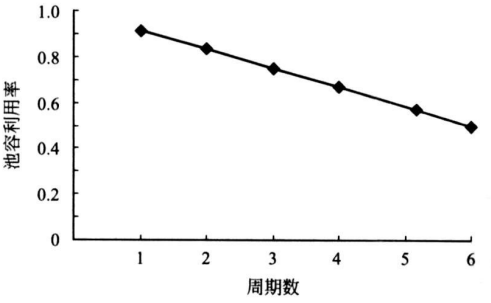

图 1　周期数对于反应器池容利用率影响

由图 1 可知, 对于第一类间歇式运行工艺(SBR、ICEAS 和 CASS 等), 其池容不变, 充排比与曝气池的污泥浓度保持一定(V、X 一定), 改变周期数, 最终得到的池容利用率随周期数的增加呈线性减小。

2.2　曝气时间对第二类间歇式工艺的影响

对于第二类交替式运行的 SBR 工艺(UNIT ANK、AICS、三沟式氧化沟和 MSBR 工艺等), 两侧边池交替处于曝气、静沉和滗水过程, 根据交替式工艺运行要求, 曝气和静沉的时间之和必须与滗出水时间相等, 这样才能完成交替连续运行的目的。因此曝气时间和静沉时间所占周期时间的比将会影响到池容利用率。

例如, 交替式运行的 AICS 工艺由四个等容反应器组成, 两侧边池为交替运行反应池, 中间两池为连续曝气池。AICS 池分别采用 6 h 周期的工艺(见图 2), 阶段 A、B、C 和 D 时间分别是 2 h、1 h、2 h、1 h 和 2.5 h、0.5 h、2.5 h、0.5 h 两种运行模式。根据式(1)计算池容利用率分别得 0.67 和 0.71(假设池容和污泥浓度保持不变)。它们一侧边池的曝气时间和静沉时间占周期时间的比分别为 0.33、0.17 和 0.42、0.083。因此, 提高池容利用率必须提高边池交替运行中的曝气时间占周期时间的比例, 缩短静沉所占周期时间的比值。

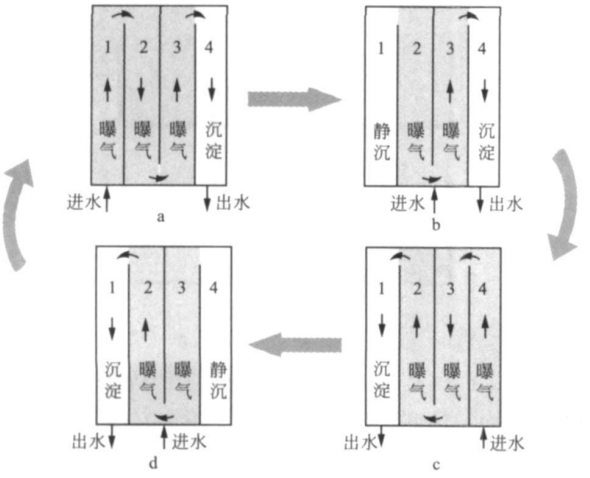

图 2　AICS 工艺运行模式

3　曝气池容对池容利用率的影响

由于间歇式运行工艺是曝气和沉淀一体化的工艺, 这样就不可避免地存在有曝气状态的池子和非曝气状态的池子。而它们所占整个系统池容的比值, 会直接影响池容利用率。因此, 为了考察池容的影响情况, 这里先假定在各反应池的污泥浓度和曝气反应时间一定的前提下, 改变反应池的有效曝气池容 V。

3.1　曝气池容对第一类间歇式工艺的影响

对于第一类间歇式工艺, 在曝气时间和污泥浓度均不变的条件下, 提高曝气池的容积 V, 就意味着提高反应器的充排比, 反应器的充排比越大, 曝气池的池容越大, 闲置的池容就越小, 所得的池容利用率就越大。反之, 池容利用率就越小。如图 3 所示, 阴影部分为有效曝气池容。充排比越大, 有效曝气池容越大, 池容利用率就越高。

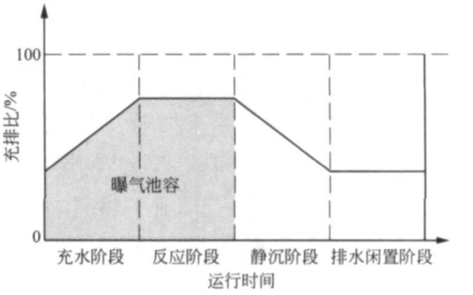

图 3　充排式 SBR 反应器曝气池容变化

3.2　曝气池容对第二类间歇式工艺的影响

对于第二类间歇式工艺, 一般是由多个反应池组合而成, 通过其中两侧反应池交替以 SBR 方式(曝气、沉淀和滗出水过程)运行达到连续进出水目的, 中间的反应池为连续曝气的反应池, 相当于活性污泥池。如果要提高此类间歇式工艺的池容利用率, 就必须提高连续曝气反应池的池容, 使其曝气反应的池容与整个系统池容之比尽可能大。

假定反应时间和污泥浓度均一定, 一个由三个

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

等容的反应器组成的交替式 SBR 工艺, 其池容利用率为 0. 67; 将中间曝气反应池的容积提高为原来的 2 倍后, 池容利用率提高至 0. 75; 曝气池容积提高为原来的 3 倍时, 池容利用率升至 0. 8。如果继续增大, 其池容利用率也会逐渐趋于 1, 但永远不会等于 1, 毕竟还需有沉淀滗水的反应池存在。

那么是不是无限增大中间连续曝气反应池的容积, 就可以提高池容利用率呢? 其实, 无限制扩大中间曝气池容积就会缩小沉淀池的容积, 这样可能对沉淀效果造成影响, 进而影响出水水质。实际上, SBR 工艺在演变发展过程中, 也在有意提高连续曝气反应池的池容。比如, UNIT ANK 工艺为三个等容的反应池组合而成, LUCAS 和 AICS 工艺为四个等容的反应池组合而成, 还有五沟式氧化沟工艺(从运行方式上, 其也可以作为 SBR 工艺的变种) 为五个等容的反应池组合而成, 池容利用率在逐渐升高。还有一些工艺是由三个不等的反应池组成, 中间的曝气反应池的池容是两侧边池的几倍, 实际效果和增加中间曝气池的做法一致。

4 污泥浓度对池容利用率的影响

污泥浓度对于传统活性污泥法或氧化沟之类的工艺来说, 不会成为影响因子。但对于间歇式工艺来说, 污泥浓度在系统内的不均匀分布状况, 将严重影响系统运行效率。换句话说, 处于曝气状态的反应池中污泥浓度越高, 曝气区域所占的污泥量也就越多, 所得的池容利用率就会越大。

4.1 污泥浓度对第一类间歇式工艺的影响

对于第一类间歇式工艺, 由于曝气、反应、沉淀和滗水均在同一反应池中, 污泥量只在时间上进行不同阶段的分配, 并不发生空间上的分布, 不存在污泥分布不均匀的问题, 因此污泥浓度的问题对第一类间隙式工艺的池容利用率不造成影响。

4.2 污泥浓度对第二类间歇式工艺的影响

对于第二类间歇式工艺, 由于系统是由几个反应池共同组成的交替运行工艺, 各反应池之间是相互连通的, 混合液顺次流经不同反应池, 这样在一个周期内各反应池中污泥浓度不停地进行重新分配。

但在实际运行中, 污泥浓度的变化情况与设计值会有较大差距。邯郸市东污水处理厂的三沟式氧化沟在设计过程中三条沟的污泥浓度分布为 4. 3 g/ L、3. 4 g/ L 和 4. 3 g/ L, 平均污泥浓度为 4 g/ L。而实际运行中各沟的平均污泥浓度为 6. 5 g/ L, 各沟的污泥浓度分布呈现不均匀状态[2]。同样的问题在枣庄市污水处理厂也出现过, 如表 1 所示。[3]

表 1 三沟式氧化沟的污泥浓度分布

污水处理厂	检测时间	边沟 1/ g/ L	中沟/ g/ L	边沟 2/ g/ L
邯郸市东污水处理厂	1995 年	8. 3	4. 3	8. 8
	1996 年	7. 1	3. 3	9. 3
枣庄市污水处理厂	2000 年 3 月	7. 9	2. 7	8. 1
	2000 年 5 月	5. 3	2. 7	4. 7

假定周期时间选用四个阶段(1. 5 h、0. 5 h、1. 5 h、0. 5 h) , 分别计算得 1995、1996 年邯郸市东污水处理厂池容利用率为 0. 5 和 0. 48, 枣庄市污水处理厂 2000 年 3 月和 5 月池容利用率分别为 0. 47 和 0. 51。由此可见, 各反应池的污泥浓度分布问题会直接影响到池容利用率。

因此, 如果中间连续曝气的反应池中污泥浓度小于两侧间歇式运行反应池的污泥浓度, 所计算池容利用率的值就偏低, 进而导致工艺的实际运行偏离设计轨道, 处理效率下降, 甚至出水不能达到排放标准。

究其原因, 第二类间歇式工艺中污泥浓度分布的不均匀问题是由交替式运行工艺固有的运行方式所造成的, 其交替从两侧进水, 另一侧交替出水的运行方式, 必然导致系统污泥量在两侧堆积, 如图 4 所示。这样既会影响曝气池反应的效率, 又可能干扰沉淀出水的效果。

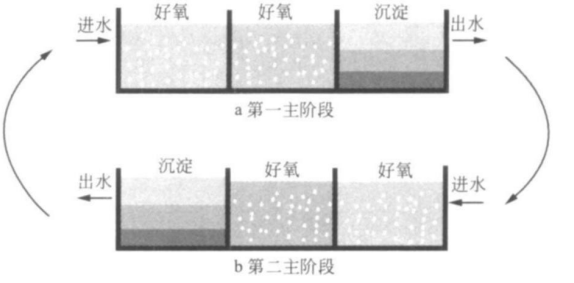

图 4 交替式工艺运行模式

那么如何提高交替式反应器各反应池的污泥浓度分布均匀性呢? 笔者所在单位在这方面进行了深入研究, 其依托自主研发的交替式内循环活性污泥(AICS) 工艺, 在新疆阿克苏污水处理厂分别在无内

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

循环系统、开启部分循环系统和完全开启内循环系统三种状态下研究污泥动态分布规律。图 5 为三种状态下平均污泥浓度分布情况的对比。

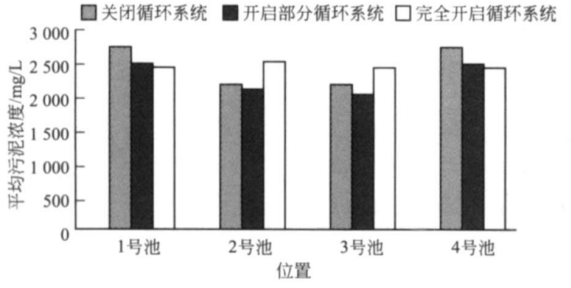

图 5　AICS 工艺在不同循环动力下的污泥分布

从图 5 可见, 在无循环系统的情况下, 系统污泥浓度呈现两侧边池高, 中间池低的不均匀分布情形。各池中的污泥停留在相对固定的位置, 相邻池子间的污泥交换作用小, 计算该状态下的池容利用率为 0.51, 这种情形与三沟式氧化沟和 UNITANK 基本相同; 开启部分内循环系统, 增强系统循环动力后, 系统各池污泥浓度差距减小, 运行状况得到了一定的改善, 池容利用率达到 0.6; 在完全开启循环系统之后, 各反应池的污泥浓度基本相差不大, 而且中间两池的污泥浓度稍稍高出, 系统循环混合回流作用增强, 使得系统污泥分布更加合理化, 利用效率更高, 此时池容利用率为 0.71[4]。

由此可知, 三种状态下, 系统的内推动力越大, 相邻池子之间的污泥量交换加剧, 对推流方式造成反应器各部分污泥分布不均匀的问题得以解决(见图 6) 。

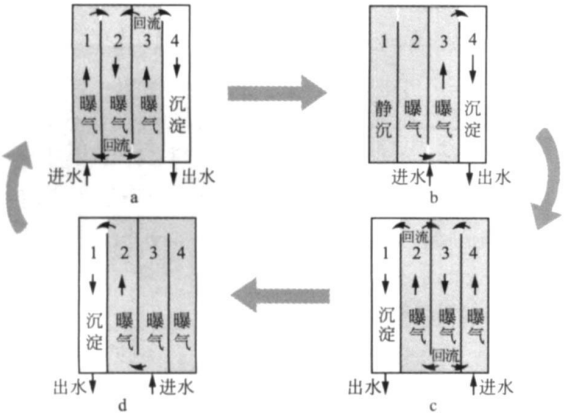

图 6　加入内循环方式的 AICS 工艺运行模式

所以, 由于第二类间歇式运行工艺交替轮换运行的结构特点, 导致其系统各反应池内污泥分布不均匀。通过增加系统内各反应池之间的循环交换的能力, 大大减小了污泥分布的不均匀性。这也进一步增大了系统的池容利用率, 提高了工艺处理效率。

5　结论

间歇式工艺要想提高池容利用率就必须提高曝气池容、曝气时间、曝气与非曝气状态污泥浓度比值三方面重要因素。提高了池容利用率, 可以提高工艺的运行效率, 降低工艺的投资和运行费用。经实际工程验证, 新疆阿克苏污水处理厂采用 AICS 工艺, 其曝气池设计负荷达 0.34 kgBOD$_5$/(kgMLSS·d), 其两侧交替运行时沉淀部分表面负荷高达 2.63 m^3/(m^2·h), 出水稳定地达到 GB 18918—2002 一级 B 标准。其工程投资成本仅为 669 元/m^3, 处理费用为 0.34 元/m^3。

综上所述, 间歇式工艺具有有机降解推动力大, 处理效果好, 操作灵活简便的特点。对于小型污水处理厂而言, 其降低了投资和运行费用。但是池容利用率低的问题又限制其进一步发展, 如何在现有条件下开发出池容利用率尽可能高的工艺, 成为中小城镇污水处理工艺发展的趋势。

参考文献

1　王凯军. 曝气、沉淀一体化活性污泥工艺设计方法和问题讨论. 给水排水, 1999, 25(3): 12~ 14

2　周律, 钱易. 浅议三沟式氧化沟的设计. 给水排水, 1998. 24(1): 6~ 9

3　戈军, 吕锡武, 荆肇乾. 三池交替工艺的污泥分布规律研究, 中国给水排水, 2006, 22(21): 31~ 34

4　崔志峰, 王凯军, 吾理之. AICS 工艺在不同循环系统条件下污泥分布试验研究. 给水排水, 2006, 32(7): 10~ 14

5　王凯军, 贾立敏. 城市污水生物处理新技术开发与应用. 北京: 化学工业出版社, 2001

6　黄儒钦, 杨敏. 活性污泥法的发展及其工程选择. 四川环境, 2001, 20(1): 24~ 27

7　吴昊. 三沟式氧化沟污泥分布不均匀的改善. 中国给水排水, 2001, 17(10): 53~ 55

& 通讯处: 100037 北京市北营房中街 59 号

E-mail: cuizhifeng@vip.sina.com

收稿日期: 2009-10-13

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net