

三池交替工艺的污泥分布规律研究

戈 军, 吕锡武, 荆肇乾

(东南大学 环境工程系, 江苏 南京 210096)

摘 要: 三池交替工艺的污泥分布特性是由其独特的运行方式决定的。通过分析建立了三池交替工艺的污泥推流模型, 根据该模型能掌握任一时间的污泥分布状况。在系统的周期运转过程中污泥分布最终会达到稳定状态, 并具有周期重现性, 边池的平均污泥浓度远高于中间池。模型算例表明, 排泥对污泥分布影响甚微, 延长主体段时间或者缩短过渡段和沉淀段时间均可以明显改善污泥分布的不均匀性; 在计算污泥负荷和排泥量时需采用反应有效系数加以修正。

关键词: 三池交替工艺; 污泥分布规律; 推流模型; 周期设置; 反应有效系数

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2006)21-0031-04

Research on Sludge Distribution Rule of Three Tank Alternating System

GE Jun, LV Xi-wu, JING Zhao-qian

(Department of Environment Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Sludge distribution characteristics of the three tank alternating system are determined by its distinct operating mode. The plug flow model of sludge distribution in the three tank alternating system was set up for controlling the sludge distribution status at one time. During systematic periodical operations, sludge distribution will eventually attain settlement at a stable state with periodic recurrences. The average sludge concentration of side tank is much higher than that of the middle tank. The model results demonstrate that sludge discharge can hardly affect sludge distribution. However, the asymmetry problem of sludge distribution can be overcome by either prolonging main phase time or shortening transition phase and settlement phase time. Calculating the sludge load and sludge discharge quantity requires the modification by the valid reaction coefficient. Overall, this model provides precise simulation of sludge distribution in real process.

Key words: three tank alternating system; sludge distribution rule; plug flow model; cycling; valid reaction coefficient

三池交替工艺主要有三沟式氧化沟、UNITANK 等形式, 它通过三池间进、出水位置的交替和水流换向流动, 实现了混合液和污泥的自动回流。由于其独特的运行方式, 污泥混合液沿水流方向推流, 三池间的污泥分布很不均匀。因而掌握和了解三池交替系统中污泥的分布规律, 对于工艺设计和运行管理

都具有重要意义。

1 三池交替系统的运行方式

图 1 是三池交替工艺的典型运行方式, 一个周期分成 6 个阶段, 一般以阶段一、四为主体段, 阶段二、五为过渡段, 阶段三、六为沉淀段。运行周期多为 6~10 h。每个边池在半个周期中不断流入混合

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2002AA601012-1A); 江苏省科技攻关计划项目 (BE2001035)

液,只在主体段流出混合液;中间池在两个主体段流入混合液,但在整个周期中都流出混合液。随着周

期交替,中间池和边池的污泥量会出现显著差异,造成处理效果不稳定^[1]。

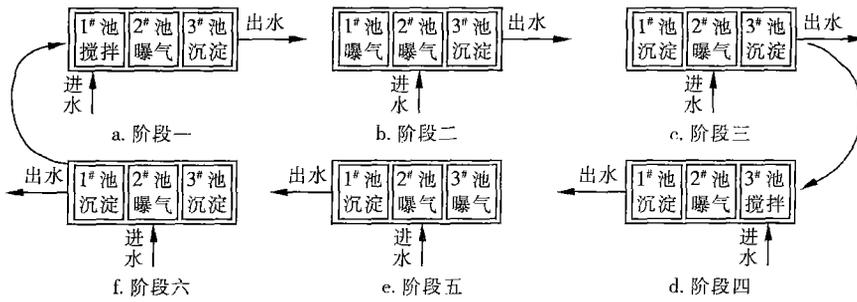


图 1 三池交替工艺的典型运行方式

Fig 1 Typical operation mode of three tank alternating system

表 1 为两个污水处理厂的三沟式氧化沟污泥分布数据^[2,3], 1[#]、2[#]、3[#]池分别代表边池、中间池、边池。可见,交替式氧化沟中的污泥分布很不均匀,边池的污泥浓度比中间池高一倍甚至两倍以上。

表 1 三沟式氧化沟的污泥浓度分布

Tab 1 Sludge distribution in three gouge oxidation ditch $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

污水厂		1 [#] 池	2 [#] 池	3 [#] 池
邯郸市东污水处理厂	1995年	8 300	4 300	8 800
	1996年	7 100	3 300	9 300
枣庄市污水处理厂	2000年 3月	7 900	2 700	8 100
	2000年 5月	5 300	2 700	4 700

2 污泥推流模型的建立

按照图 1 的运行方式,由于污泥在池中的迁移量远远大于其产量,因此在建立污泥推流模型的过程中可以忽略污泥的增长^[4]。设定进水流量为 Q ,三池的体积均为 V ,污泥在各池子中皆分布均匀,其中出水池中的污泥量按出水池的体积进行均匀分配;在周期运转开始时 3 座池子内的污泥浓度分别为 X_{10} 、 X_{20} 、 X_{30} ,忽略进水悬浮物和出水污泥流失的影响,在某一时刻 t 池的污泥浓度为 X_{it} ,按式 (1) 建立污泥的物料平衡方程^[5]。

$$\text{污泥量}_{\text{进}} - \text{污泥量}_{\text{出}} = \text{污泥量}_{\text{变化}} \quad (1)$$

2.1 阶段一的污泥浓度变化方程

在初始条件为 $t=0, X_{1t} = X_{10}, X_{2t} = X_{20}, X_{3t} = X_{30}$ 时,各池内的污泥浓度随时间变化的方程分别为:

$$X_{1t} = X_{10} e^{-\frac{Q}{V}t} \quad (2)$$

$$X_{2t} = X_{20} e^{-\frac{Q}{V}t} + X_{10} t \frac{Q}{V} e^{-\frac{Q}{V}t} \quad (3)$$

$$X_{3t} = -\frac{Q}{V} X_{10} t e^{-\frac{Q}{V}t} - X_{10} e^{-\frac{Q}{V}t} - X_{20} e^{-\frac{Q}{V}t} + X_{10} + X_{20} + X_{30} \quad (4)$$

2.2 阶段二和阶段三的污泥浓度变化方程

由式 (2) ~ (4) 可以得出阶段一结束时 3 座池子内的污泥浓度分别为 X_{11} 、 X_{21} 、 X_{31} 。以此为初始条件建立过渡段和沉淀段的模型。此过程中 1[#]池停止进水和出水,忽略相邻池子的干扰,则污泥浓度稳定在 X_{11} 。

在初始条件为 $t=0, X_{2t} = X_{21}, X_{3t} = X_{31}$ 时,2[#]池、3[#]池的污泥浓度随时间变化的方程分别为:

$$X_{2t} = X_{21} e^{-\frac{Q}{V}t} \quad (5)$$

$$X_{3t} = X_{21} + X_{31} - X_{21} e^{-\frac{Q}{V}t} \quad (6)$$

2.3 下半周期的污泥浓度变化方程

由于运行周期对称设置,因此上半周期的污泥推流模型公式对下半周期同样适用。只不过下半周期水流反向,以上半周期结束时 3[#]、2[#]和 1[#]池的污泥浓度为初始条件,模型公式推导顺序由 3[#]池向 1[#]池进行,式 (2) ~ (6) 同样适用。

3 污泥分布规律分析

3.1 不考虑污泥增长的污泥分布

根据模型推导在一定的初始浓度下,污泥在工艺中的分布情况。例如在 $X_{10} = X_{20} = X_{30} = 4\ 000 \text{ mg/L}$ 、 $V/Q = 4 \text{ h}$ 运行周期为 8 h 以及主体段、过渡段和沉淀段的时间分别为 2、1、1 h 的初始条件下,按照所

建模型计算污泥浓度随时间的变化,结果见表 2。

表 2 半周期及周期末的污泥浓度分布

Tab 2 Sludge distribution of half and endmost cycle
mg · L⁻¹

周期 序号	周期末			半周期末		
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	1 [#]	2 [#]	3 [#]
1	5 365	2 167	4 468	2 426	2 207	7 367
2	5 840	1 937	4 223	3 254	1 784	6 962
3	6 070	1 884	4 046	3 681	1 810	6 509
4	6 189	1 863	3 948	3 754	1 824	6 422
5	6 252	1 852	3 895	3 792	1 831	6 376
6	6 286	1 847	3 867	3 813	1 836	6 352
7	6 304	1 844	3 853	3 823	1 838	6 339
8	6 313	1 842	3 845	3 829	1 839	6 332
9	6 318	1 841	3 840	3 832	1 840	6 328
10	6 321	1 841	3 838	3 834	1 840	6 326
11	6 322	1 840	3 837	3 835	1 840	6 325
12	6 323	1 840	3 836	3 835	1 840	6 325
13	6 324	1 840	3 836	3 835	1 840	6 324
14	6 324	1 840	3 836	3 836	1 840	6 324

由表 2 可知,经过 14 个周期的循环后污泥分布趋于稳定。半周期末 1[#] ~ 3[#]池的污泥浓度与周期末 3[#] ~ 1[#]池的完全一致,整个系统处于稳态运行中。达到稳态后,周期末 1[#] ~ 3[#]池的污泥浓度分别为 6 324、1 840、3 836 mg/L,以此为初始条件,应用模型计算污泥浓度在一个周期内的变化,结果见图 2。

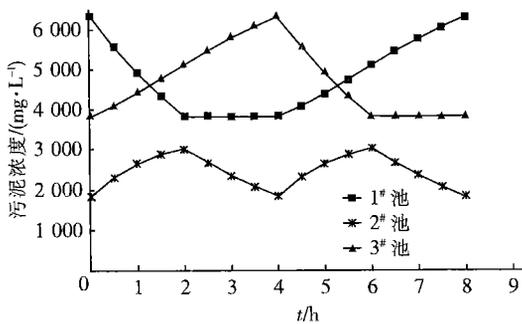


图 2 一个周期内 3 座池子的污泥浓度分布

Fig 2 Three tanks' sludge distribution in one cycle

3 座池内的污泥浓度随着水流方向的改变呈周期性变化。在阶段一,随着 1[#]池进水、3[#]池出水,污泥由 1[#]池向 3[#]池方向推移,2[#]池和 3[#]池的污泥浓度增加;当阶段一结束时,3 座池子的污泥量占反应器中污泥总量的比例分别为 32.0%、25.3%、42.7%。在阶段二和阶段三中,1[#]池停止进水和推流,污泥浓度保持不变,污泥由 2[#]池向 3[#]池推移,表现为 2[#]池

的污泥浓度减小,3[#]池的污泥浓度继续增加,至半周期结束时 3 座池子的污泥量占反应器中污泥总量的比例分别为 32.0%、15.3%、52.7%,3[#]池的污泥量占到一半以上。在下半周期,1[#]池和 3[#]池的污泥浓度变化分别与上半周期 3[#]池和 1[#]池的一致,2[#]池的污泥浓度变化同上半周期,即上、下半周期的污泥分布完全对称。

由图 2 还可以看出,2[#]池的污泥浓度一直低于 1[#]池和 3[#]池,即边池污泥浓度约为中间池的两倍。

3.2 污泥增长和排泥对污泥分布的影响

假定污泥增长速度与池内污泥浓度呈线性关系,并在半周期末和周期末从出水池排出剩余污泥。如 $f_a = 0.57$, $\bar{X} = 4 000$ mg/L、三池体积均为 V 、周期为 8 h,则半周期内的污泥产量为:

$$\frac{3V \cdot \bar{X} \times 0.57}{6c \cdot V} = \frac{1 140}{c} \text{ mg/L}$$

按照图 1 的运行模式,分别计算泥龄为 6、12、18、30 d 的平均污泥浓度分布,结果如表 3 所示。

表 3 不同泥龄时平均污泥浓度分布

Tab 3 Average sludge distribution at different SRT

泥龄 /d	污泥浓度 / (mg · L ⁻¹)		
	1 [#]	2 [#]	3 [#]
6	4 749	2 501	4 749
12	4 754	2 493	4 753
18	4 755	2 490	4 755
30	4 756	2 488	4 756
不排泥	4 757	2 486	4 757

由表 3 可知,随着泥龄的减小则边池的污泥浓度降低,中间池的污泥浓度增加,污泥分布的不均匀性有所缓和,这主要是由于污泥是从浓度最高的边池排出的,泥龄小时则排泥量大,相对减轻了污泥浓度的差异。泥龄越大则污泥分布越接近于不排泥时的情况。不过就总体而言,排泥对污泥分布的影响不大。在实际应用中三沟式氧化沟、UN ITANK 等工艺的泥龄一般控制为 20 ~ 30 d,在此泥龄下污泥分布基本接近于完全靠推流形成的污泥分布^[6]。

为了验证模型对工艺实际运行的模拟效果,在起始污泥平均浓度为 7 100 mg/L、泥龄为 12 d 的条件下进行了模拟计算,得到稳定运行时一个周期内 1[#] ~ 3[#]池的污泥平均浓度分别为 8 474、4 352、8 474 mg/L,与表 1 中 1995 年邯郸市东污水处理厂的污泥分布情况基本一致。

3.3 周期设置对污泥分布的影响

按照图 1 的运行方式,延长主体段时间可增加边池混合液流出时间,并能减少边池的污泥量,提高污泥分布的均匀性;如缩短过渡段或沉淀段时间,则可减少中间池混合液的出流时间,同样会提高中间池的污泥量和污泥分布的均匀性。

在 3.1 节算例的基础上,将主体段延长 1 h,达到稳态运行后 1[#] ~ 3[#]池的污泥平均浓度分别为 4 602、2 796、4 602 mg/L,中间池的污泥浓度是边池的 60.8%,比原分布提高了 8.6%;在保持主体段时间不变的情况下,将过渡段和沉淀段的时间缩短 0.5 h,达到稳态运行时 1[#] ~ 3[#]池的污泥平均浓度分别为 4 628、2 744、4 628 mg/L,污泥分布的均匀性同样有很大提高。因此在满足处理功能的前提下,可通过适当延长主体段时间或者缩短过渡段和沉淀段时间,来提高污泥分布的均匀性和对工艺的有效利用率。

3.4 三池交替工艺反应有效系数的推导

由于三池交替工艺的两个边池交替出水,当其中一个池子出水时,另一个池子可能处于厌氧、缺氧、好氧或静止沉淀状态,因此在计算泥龄时不能把整个反应器的容积作为反应区的体积(应扣除出水沉淀的那部分污泥),否则会使计算泥龄高于实际泥龄,导致实际泥龄偏小,影响出水水质和污泥的稳定性。另外,总有一个边池在经历了厌氧、缺氧和好氧状态转换后需要一定的静止沉淀期,此过程中可利用剩余的溶解氧进行吸磷、硝化和有机物降解,并且时间较短(一般为 0.5 ~ 1 h),因此这部分可以作为反应区进行计算。因此,在计算三池交替工艺的污泥负荷和排泥量时需要引入有效系数 f_a 进行修正。

污泥负荷:

$$N_s = \frac{QL_a}{V_T X f_a} \quad (7)$$

式中 Q ——污水流量

L_a ——进水有机物浓度

V_T ——池体总容积

\bar{X} ——污泥平均浓度

排泥量:

$$Q_w = \frac{V_T \bar{X} f_a}{c X_r} \quad (8)$$

式中 X_r ——排泥浓度

c ——泥龄

根据图 2,经计算 $f_a = 0.57$ 。

3.5 剩余污泥排放优化

三池交替工艺一般采用间歇排泥方式运行,由于存在两个交替出水池,需要在交替出水前使一个边池处于静止沉淀期,为下一阶段的出水做准备,因此排泥时段有两种选择:出水池出水末期和静沉池静沉末期。模拟结果表明,在初始污泥平均浓度为 4 000 mg/L、泥龄为 12 d 的条件下,达到稳定状态时半周期与周期末期出水池和静沉池的污泥平均浓度分别为 6 292、3 847 mg/L。在沉降比为 30% 时,沉淀后的排泥浓度分别为 20 973、12 823 mg/L,相应的污泥含水率分别为 97.9%、98.7%,由此得出在同样的泥龄下,出水池出水末期所排污泥的体积只有静沉池静沉末期排泥的 61.1%。因此,在出水池出水末期排泥更具经济性。

4 结论

三池交替工艺的污泥分布特性是由系统运行方式决定的。应用污泥推流模型的研究结果表明,在稳态运行条件下,系统内污泥分布趋向于稳定,并呈现周期性变化;边池出水末期排泥可以降低污泥产量,但对污泥分布影响甚微,延长主体段时间或者缩短过渡段和沉淀段时间可以明显改善污泥分布的不均匀性。根据周期运转过程中的污泥分布,能准确地计算反应有效系数 f_a ,可为三池交替工艺的设计和运行提供指导。

参考文献:

- [1] 胡大镛. 对交替工作式氧化沟几个技术问题的探讨 [J]. 给水排水, 2001, 27(4): 4 - 6
- [2] 王雅昌, 高嵩. 三沟式氧化沟的活性污泥特性 [J]. 中国给水排水, 2000, 16(4): 52 - 54
- [3] 吴昊. 三沟式氧化沟污泥分布不均的改善 [J]. 中国给水排水, 2001, 17(10): 53 - 55
- [4] 周律, 钱易. 浅议三沟式氧化沟的设计 [J]. 给水排水, 1998, 24(1): 6 - 9
- [5] 许保玖, 龙腾锐. 当代给水与废水处理原理 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000
- [6] 周律, 钱易, 杨肇健, 等. 三沟式氧化沟处理城市污水的效应 [J]. 中国给水排水, 1997, 13(5): 5 - 7

作者简介: 戈军 (1964 -), 男, 江苏武进人, 博士研究生, 主要从事水污染控制研究工作。

电话: 13905185504

E-mail: gejun616@163.com

收稿日期: 2006 - 06 - 20