

活性污泥法处理污水两个重要参数的理论探讨

张显龙¹, 李海燕¹, 刘红侠², 孙晓东³, 吴志坚⁴

(1. 沈阳化工学院, 辽宁 沈阳 110142; 2. 中国矿业大学, 山东 徐州 221008;
3. 沈阳华昌岩土工程有限公司, 辽宁 沈阳 110015; 4. 沈阳建材勘察院, 辽宁 沈阳 110015)

摘 要: 负荷、泥龄是活性污泥法处理城市污水设计、运行中的重要参数。给出了有机负荷的动力学表达形式(称之为动力学负荷),并对有机负荷和泥龄的关系,有机负荷和泥龄对水质、污泥沉降性能影响进行了理论探讨。

关 键 词: 活性污泥; 负荷; 泥龄; 去除率; 动力学负荷

中图分类号: TQ 085 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0935(2004)08-0464-03

污水处理厂的设计和运行负荷的选取直接关系到曝气的容积、出水水质的好坏;泥龄反应了活性污泥系统中微生物的生长状态、生长条件、世代期等一系列特征,且对活性污泥系统的运行状况如出水水质、产泥量和需氧量均有较大影响,也是活性污泥系统的一个重要的设计方法。虽然有机负荷在活性污泥处理系统设计中广泛采用,但该方法更能够从生物自身生长特性反应有机物降解过程,接近生物处理本质,同样是一种非常合理设计手段。

1 对几种负荷概念及动力学负荷导出

1.1 几种负荷概念

在污水处理系统通常定义以下几种负荷类型,见表1所示。几种负荷负荷的表达不同,意义和用途不同,现分别介绍如下:

(1) 有机物去除负荷:客观上反映了污水处理系统微生物吸收降解有机物的程度,在各类活性污泥法处理系统的设计中广泛应用。

(2) 有机物承受负荷:反映了污水处理系统中各类微生物所接受的营养状况,在要求出水水质不高的污水处理厂的设计中应用。

(3) 体积去除和承受负荷:反映了污水处理系统投资建设过程中的经济要素,因负荷和处理设施的容积成反比关系,也就是负荷大,处理设施

容积小,反之,处理设施容积大,而处理设施容积的大小与基建投资密切相关。体积负荷广泛应用于生物膜法污水处理工艺设计中。

(4) 水力负荷:是有机物负荷外在表达,有机物负荷(污泥负荷)是其本质的反映,水力负荷主要用于二次沉淀池的设计中^[1]。

(5) 毒物负荷:反映了污水处理系统中微生物对主要的毒物降解、去除的程度,这种负荷主要用于各类化工厂废水的点源治理的设计中。

(6) 动力学负荷:是有机物负荷(污泥负荷)的理论表达,从生化反应动力层面反映微生物降解有机污染物程度。主要用于没有经验资料地区污水处理系统的设计中。

表1 污水处理系统中几类负荷

项 目	表达式	负荷名称	单 位
污泥负荷	$\frac{QS_r}{VX}$	有机物去除负荷	kgBOD/kgMLVSS·d
	$\frac{QS_0}{VX}$	有机物承受负荷	kgBOD/kgMLVSS·d
体积负荷	$\frac{QS_r}{V}$	体积去除负荷	kgBOD/m ³ ·d
	$\frac{QS_0}{V}$	体积承受负荷	kgBOD/m ³ ·d
水力负荷	$\frac{Q}{F}$	水力滤速负荷	m ³ /m ² ·d
毒物负荷	$\frac{\text{毒物}}{VX}$	毒物去除负荷	kg(毒物)/kgMLVSS·d
动力学负荷	$\frac{kS^*}{K+S^*}$	动力学去除负荷	kgBOD/kgMLVSS·d

1.2 动力学负荷导出

根据生化反应动力学经典米氏方程:

$$-\frac{ds}{dt} = \frac{kSX}{K_s + S} \quad (1)$$

设无回流时有机物初始浓度为 S_0 , 出水有机物浓度为 S_e ; 水力停留时间从 0 开始, 当有回流时, 有机物初始浓度设为 S_0 , 水留时间为 T_e 根据物料平衡原理有:

$$T_e = \frac{T}{1+r} \quad S_c = \frac{S_0 + rS_e}{1+r} \quad (2)$$

式中: r —为回流比

对 (1) 式进行移项积分:

$$\int_{S_0}^{S_e} \frac{(K_s + S) ds}{S} = - \int_0^{T_e} kX dt \Rightarrow -K_s \ln\left(\frac{S_e}{S_0}\right) - S_e + S_0 = -kT_e X$$

$$\Rightarrow \frac{S_0 - S_e}{T_e X} = \frac{k(S_0 - S_e)}{K_s \ln \frac{S_0}{S_e} + S_0 - S_e} \Rightarrow U_d = \frac{k \frac{S_0 - S_e}{\ln \frac{S_0}{S_e}}}{K_s \frac{S_0 - S_e}{\ln \frac{S_0}{S_e}} + 1} \Rightarrow \frac{kS_p}{1 + K_s S_p}$$

(3)

式中: $S_p = \frac{S_0 - S_e}{\ln \frac{S_0}{S_e}}$ 被称为反应器内有机物对数平均浓度

公式 (3) 为动力学去除负荷, K_s 为动力学常数, k 为最大反应速度常数; 可见, 当进水水质、出水水质及回流比 (K_s , k 通过实验确定), 通过动力学负荷可以定量给出有机物去除率负荷, 使设计过程中有机物负荷的选取更具有科学性, 确保系统运行稳定。

2 对泥龄概念的认识

在活性污泥理论应用中, 泥龄与出水水质、沉降性能和除磷关系认识不一, 作者试图将泥龄与有机物去除负荷联系起来, 使以上问题得以进一步探讨。根据经典的《当代给水与废水处理原理》^[2], 定义泥龄 θ_c 定义为反应器内的活细菌总

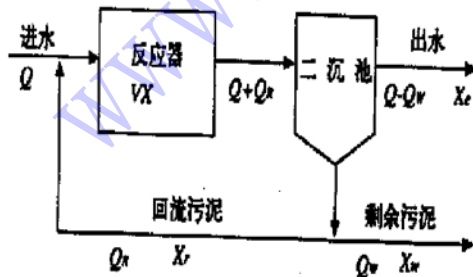


图 1 完全混合式活性污泥系统

量与每日从系统内流走的活细菌总量之比。该定义反应器是指曝气池。为了便于讨论, 以连续、有

污泥回流系统完全混合式活性污泥系统 (如图 1 所示) 为例。

其实, 对于泥龄更为全面的定义应为活性污泥系统内总活性污泥的量与每日从系统内排出的活性污泥量之比^[2]。用公式表示为:

$$\theta_c = \frac{M_s + M_e + M_R}{M_w + M_e} \quad (4)$$

式中: M_s —为曝气池中活性污泥量;

M_e —为二沉池每天带走的活性污泥量;

M_w —为每天排放的剩余污泥量;

M_R —为回流系统的污泥量

公式 (1) 还可以具体表示为:

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_w + (Q - Q_w) X_e} \quad (5)$$

式中: V —反应器容积, d;

X —混合液悬浮固体浓度 (MLSS), mg/L;

X_w —剩余活性污泥悬浮固体浓度, mg/L;

X_e —出水悬浮固体浓度, mg/L;

Q_w 与 M_w 意义相同;

Q —处理污水量, m³/d

因公式 (2) 中 X_e 与 X 相比较小, 可以忽略不计, (2) 又可以表达为:

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_w} \quad (\text{有回流系统排泥}) \quad \text{或} \quad \theta_c = \frac{V}{Q_w} \quad (\text{自曝气系统排泥}) \quad (6)$$

公式 (6) 是计算泥龄常用的公式。

3 泥龄与有机物去除负荷的关系

根据霍克莱金提出的方程式, 可以得到以下关系式:

$$\Delta X = aQ(S_0 - S_e) - bVX \quad (7)$$

$$\theta_c = \frac{VX}{aQ(S_0 - S_e) - bVX} = \frac{1}{aU - b} \quad (8)$$

式中: U —有机物去除负荷;

a , b —分别为产率系数和内源呼吸系数

4 两种参数对水质和污泥沉降性能影响

4.1 对水质的影响

对于活性污泥处理系统, 低负荷运行出水水质较好, 高负荷出水水质较差。从有机物去除负荷与泥龄的关系, 出水水质与泥龄的关系中, 可以更好地理解两种参数对水质的影响。由劳伦斯-麦卡蒂模式^[3]可得:

$$S_e = \frac{K_s(1 + K_d \theta_c)}{\theta_c(YTq_{max} - K_d)} \quad (9)$$

式中: S_e —出水水质;

K_s —饱和常数;

K_d —污泥自身氧化率;

V_r —理论产气率;

q_{max} —最大比底物利用率

又由 L-M 模式基本导出方程式:

$$\mu = Yq - K_d$$

可知: $\mu_{max} = Yq_{max} - K_d$ (10)

式中: μ —污泥比净产率;

μ_{max} —污泥最大比净产率

将公式(10)代入(9)得:

$$S_e = \frac{K_s(1 + K_d\theta_c)}{\theta_c\mu_{max} - 1} \quad (11)$$

从公式(12)式可以看出, $\theta_c = \frac{1}{\mu_{max}} = \theta_{c, min}$ 时, θ_c 污水基本未被降解, 即 S_e 等于进水水质 S_0 (式中可看出 $S_e \rightarrow \infty$, 其实是不可能出现的)。因此存在最小泥龄, 当 $\theta_c \leq \theta_{c, min}$ 时, 系统不可能正常运行。可以得出, 当 $\theta_c > \theta_{c, min}$ 时, 随着 θ_c 的增加, 出水水质 S_e 减小; 反之, θ_c 的减小, 出水水质差。而由公式(8)可知, 随着有机物去除负荷增加, θ_c 的减小, 出水水质差; 反之, 随着有机物去除负荷减小, θ_c 的增加, 出水水质 S_e 减小。另外, 根据清华大学教授钱易的研究^[4], 随着泥龄的增加, 出水 COD 浓度逐渐降低, 在泥龄 1~10 d 内变化时, 降低较快, θ_c 大于 10 d 后, 出水 COD 浓度不再有明显变化。同时, 泥龄也不可以过长, 否则将影响污泥的沉降性能, 下面讨论这个问题。

4.2 对污泥沉降性能影响

由公式(7)可得:

$$\frac{1}{\theta_c} = aU - b \quad (12)$$

从这个式子可以得出: 在有机物去除负荷一定时, 泥龄与污泥净增长率的成反比, 当泥龄很短时, 进入系统的食料很大, 此时污泥净增长率很大, 污泥中的微生物大多处于对数生长期, 微生物周围的黏液层相当后。粘液层主要由多糖物质组成, 松散而轻, 厚了使微生物不易沉降。当泥龄很长时, 进入系统的食料较少, 系统中基质不足以维持微生物的生长, 此时污泥净增长率较小, 微生物被迫依靠内源呼吸获取能量, 通过内源呼吸代谢所剩余的残渣主要由细胞囊构成, 非常轻, 并且这时细胞周围粘液层很薄, 难以相互凝聚沉降^[5]。而当泥龄一定时, 有机物去除负荷与污泥净增长率也是反比关系, 同样循一个规律。可见, 泥龄的选取要适中, 而有机物去除负荷与 SVI 有关, 选取

时还要避开 SVI 增大区域, 因 SVI 值大于 300, 将使污泥的沉降性能变的很差, 导致污泥膨胀。机负荷的关系如图 2 所示。

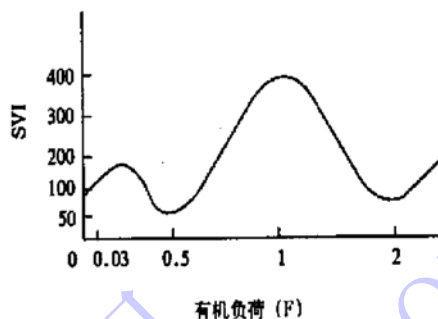


图 2 有机负荷与 SVI 关系

5 结 论

负荷和泥龄是污水处理系统的设计和运行中的重要参数。不同类型的负荷具有不同的意义和用途, 最为常用的是污泥负荷(也称有机物负荷), 本文建立了动力学负荷和有机物去除负荷的关系, 在污水的设计中可以更为科学地选用有机物负荷, 但要通过实验确定在一定条件下的动力学负荷参数和; 泥龄和有机物去除负荷密切相关, 在污水处理系统中, 泥龄的选取要适中, 否则将会影响处理出水的水质和污泥沉降性能。在污水处理过程中, 除了以上讨论的两个参数以外, 还有几个重要参数, 在这些参数的选取中, 要综合考虑, 优化选择, 使污水处理系统能够既经济又高效运行。

参 考 文 献

- [1] 高廷耀主编. 水污染控制工程. 北京: 高等教育出版社, 1999
- [2] 许保玖, 龙腾锐. 当代给水与废水处理原理[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2000, 438-441
- [3] 张自杰, 周帆. 活性污泥生物学与生物反应动力学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989, 479-488
- [4] 钱易. 活性污泥泥龄理论与实用意义[A]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998, 262-271
- [5] 周海东等. 泥龄应用中有关问题的探讨. 污染防治技术, 2003, 16(2): 13-16

(下转第 476 页)