

活性污泥法 2 号模型(ASM2)简介^{*}

吴俊奇 汪慧贞

[提要] 国际水质协会 (IAWQ) 在活性污泥法 1 号模型 (ASM1) 的基础上, 经专家组多年研究, 推出了活性污泥法 2 号模型 (ASM2)。它以矩阵形式描述活性污泥法去除水中碳、氮、磷的过程。ASM2 是除磷脱氮污水厂设计及运行控制的有效工具。

[关键词] 活性污泥法 数学模型 生物除磷 营养物去除 硝化 反硝化

一、概述

对于污水处理厂的方案选择、工艺设计、最佳状态运行控制、运行中出现问题的分析和解决, 数学模型是一很有用的工具。自从活性污泥法问世以来, 许多学者致力于其数学模型的研究, 如 Eckenfelder、Lawrence、McCarty、Mckinney 等, 他们所提出的各种数学模型在实践中得到广泛应用。但随着人类对环境要求的提高及污水处理技术的发展, 某些数学模型就显示出了其局限性, 如 Eckenfelder 模型和 Lawrence-McCarty 模型仅考虑了污水中含碳有机物的去除。如今, 为了防止水体的富营养化, 污水处理厂不仅要去除污水中的含碳有机物, 还需去除氮和磷。

国际水污染研究控制协会 (IAWPRC) 组织五国专家组成的专家组, 经两年多研究于 1987 年推出了活性污泥法 1 号模型 (Activated sludge Model No. 1, 简称 ASM1)。此模型的先进之处在于它不仅包含了含碳有机物去除过程, 还描述了通过硝化和反硝化作用对含氮物质的去除。由于计算机技术的迅速发展, 很快出现了基于 ASM1 的程序和软件, 如 SSSP、EFOR 等, 它们提供了对 ASM1 的快捷、方便使用的保证。近 10 年的实践证明: ASM1 是一很有用的工具, 在欧美得到广泛使用, 但它的主要缺陷是未包含污水中磷的去除。

防止水体富营养化的关键是控制排入水体的污水含磷量。各国的污水排放标准对磷均有严格规定, 我国的《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 对排入各级水域的污水的磷酸盐含量也有具体要求: 一级和二级标准各为 0.5mg/L 和 1.0mg/L (以 P 计)。

为了弥补 ASM1 的缺陷, 国际水质协会 IAWQ 又组织多国专家于 1995 年推出活性污泥法 2 号模型 (ASM2), 它不仅包含污水中含碳有机物和氮的去除过程, 还包含生物除磷过程。以物料平衡为计算基础, 用矩阵来描述各有关物质浓度、反应速率、反应动力学参数及化学计量系数之间的关系, 这样, 使用者能同时看出各种反应对各种物质浓度变化的影响。

二、ASM2

1. 物质的分类

ASM2 将处理系统中的 19 种物质 ($i = 19$) 分为两大类, 一类是可溶性物质, 用 S 表示, 另一类是颗粒性物质, 用 X 表示。

可溶性物质有 9 种, 它们是:

S_A —— 发酵产物, 假设为醋酸盐
[$M(\text{COD})L^{-3}$];

S_{ALK} —— 污水的 HCO_3^- 碱度
[$\text{mol}(\text{HCO}_3^-)L^{-3}$];

S_F —— 可发酵的易生物降解有机物, 是异养菌的直接食料 [$M(\text{COD})L^{-3}$];

S_I —— 惰性可溶有机物, 由进水带入系统

^{*} 本研究由北京市教委科技计划项目资助

及水解产物的一部分 $[M(\text{COD})\text{L}^{-3}]$;
 S_{N_2} ——反硝化产物 $[M(\text{N})\text{L}^{-3}]$;
 $S_{\text{N H}_4}$ ——氨氮 $[M(\text{N})\text{L}^{-3}]$;
 $S_{\text{N O}_3}$ ——硝态及亚硝态氮 $[M(\text{N})\text{L}^{-3}]$;
 S_{O_2} ——溶解氧 $[M(\text{O}_2)\text{L}^{-3}]$;
 $S_{\text{P O}_4}$ ——无机可溶磷,一般认为它由 50 %
 H_2PO_4^- 和 50 % HPO_4^{2-} 组成
 $[M(\text{P})\text{L}^{-3}]$;
 S_{S} ——易生物降解有机物,是 S_{F} 与 S_{A} 之和
 $[M(\text{COD})\text{L}^{-3}]$;
 颗粒性物质有 10 种,它们是:
 X_{AUT} ——硝化菌,为好氧自养菌 $[M(\text{COD})\text{L}^{-3}]$;
 X_{H} ——异养菌,起水解 X_{S} 和降解所有易生
 物降解有机物的作用 $[M(\text{COD})\text{L}^{-3}]$;
 X_{I} ——颗粒惰性有机物,由进水带入系统或
 为内源呼吸产物 $[M(\text{COD})\text{L}^{-3}]$;
 X_{MeOH} ——金属氢氧化物,对磷的凝聚起作用
 $[M(\text{TSS})\text{L}^{-3}]$;
 X_{MeP} ——金属磷酸盐,是含磷物质与金属氢
 氧化物作用的结果 $[M(\text{TSS})\text{L}^{-3}]$;
 X_{PAO} ——聚磷菌,它不包含菌内积累物 X_{PHA}
 和 X_{PP} $[M(\text{COD})\text{L}^{-3}]$;
 X_{PHA} ——聚磷菌细胞内贮藏的有机物质
 $[M(\text{COD})\text{L}^{-3}]$;
 X_{PP} ——聚磷菌细胞内贮藏的无机物质
 $[M(\text{P})\text{L}^{-3}]$;
 X_{S} ——可缓慢生物降解有机物,为具有大
 分子量的胶体颗粒或颗粒状有机
 物,它的水解产物为
 $S_{\text{F}}[M(\text{COD})\text{L}^{-3}]$;
 X_{TSS} ——总悬浮固体,它包含进水中的无机
 颗粒及生成的磷沉淀物
 $[M(\text{TSS})\text{L}^{-3}]$ 。

2. 反应速率 ρ

处理系统中共有 19 种主要反应 ($j = 19$),

表 1 列出各种反应的速率 ρ 。表 1 中参数有的
 具有固定值,有的则需经实验或计算而得,专家
 组给出了使用推荐值,详见表 2。

以异养菌利用可发酵易生物降解有机物
 S_{F} 而生长的反应 4 为例,其反应速率为:

$$\rho^4 = \mu_{\text{H}} \cdot \frac{S_{\text{O}_2}}{K_{\text{O}_2} + S_{\text{O}_2}} \cdot \frac{S_{\text{F}}}{K_{\text{F}} + S_{\text{F}}} \cdot \frac{S_{\text{F}}}{S_{\text{F}} + S_{\text{A}}} \\ \cdot \frac{S_{\text{NH}_4}}{K_{\text{NH}_4} + S_{\text{NH}_4}} \cdot \frac{S_{\text{PO}_4}}{K_{\text{P}} + S_{\text{PO}_4}} \\ \cdot \frac{S_{\text{ALK}}}{K_{\text{ALK}} + S_{\text{ALK}}} \cdot X_{\text{H}}$$

其中 μ_{H} 为异养菌生长系数, X_{H} 为异养菌
 浓度,其它各项如 $S_{\text{O}_2}/(K_{\text{O}_2} + S_{\text{O}_2})$ 等均为反
 应的“开关”。如溶解氧浓度 S_{O_2} 很小时, $S_{\text{O}_2}/(K_{\text{O}_2} + S_{\text{O}_2}) \rightarrow 0$,即此反应不能顺利进行,同样,若
 S_{F} 或氨氮或磷含量或碱度很小时,此反应的速
 率均接近于 0,即反应不能顺利进行。

表 1 中第 18 和 19 反应实际上是化学反
 应。为了保证出水中磷的低含量,在生物除磷
 的同时加入铁盐或铝盐以生成磷酸盐沉淀也是
 一种常用的方法,尤其是碳磷比很小时,为此,
 ASM2 纳入了这两个化学反应。若化学沉淀所
 起作用很小,则可略去这两个反应。

3. 矩阵

表 3 为溶解性物质和颗粒性物质化学计量
 系数的矩阵。表 3 中各参数也有推荐使用值(见
 表 4)。矩阵中的正、负号表示物质的增加和减
 少。在第 j 反应过程中,物质 i 对评价指标 C
 (如 N, P, COD, 电荷, 质量等指标)的影响,可
 由连续方程写成:

$$\sum v_{ji} \cdot k_{Ci} = 0$$

式中 v_{ji} ——物质 i (包括溶解性和颗粒性) 在第
 j 反应过程中化学计量系数;

k_{Ci} ——物质 i 对指标 C 的转化系数 (见表
 5)。例如对指标磷 (P) 而言,物质 S_{F} ($i = 6$) 在第
 一反应过程中的计算系数为:

反 应 速 率 表 达 式

表 1

过 程		ρ	ρ 表达式
水 解	1. 好氧水解	ρ_1	$K_b \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{X_{ss}/X_{H_2O}}{K_X + X_{ss}/X_{H_2O}} \cdot X_H$
	2. 缺氧水解	ρ_2	$K_b \cdot \eta_{N_{O_3}} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{X_{ss}/X_{H_2O}}{K_X + X_{ss}/X_{H_2O}} \cdot X_H$
	3. 厌氧水解	ρ_3	$K_b \cdot \eta_{e^-} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{X_{ss}/X_{H_2O}}{K_X + X_{ss}/X_{H_2O}} \cdot X_H$
异 养 微 生 物 X_H	4. 基于 S_F 的生长	ρ_4	$\mu_H \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_F}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
	5. 基于 S_A 的生长	ρ_5	$\mu_H \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_A}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
	6. 基于 S_F 的反硝化	ρ_6	$\mu_H \cdot \eta_{N_{O_3}} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_F}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot X_H$
	7. 基于 S_A 的反硝化	ρ_7	$\mu_H \cdot \eta_{N_{O_3}} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_A}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot X_H$
	8. 发酵	ρ_8	$q_{Fe} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_F}{K_{Fe} + S_F} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
	9. 自身氧化	ρ_9	$b_H \cdot X_H$
聚 磷 菌 X_{PAO}	10. X_{PHA} 的贮藏	ρ_{10}	$q_{PHA} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
	11. X_{PP} 的贮藏	ρ_{11}	$q_{PP} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_{PS} + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot \frac{K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}}{K_{IPP} + K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
	12. 基于 X_{PHA} 的好氧生长	ρ_{12}	$\mu_{PAO} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
	13. X_{PAO} 的氧化	ρ_{13}	$b_{PAO} \cdot X_{PAO} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}}$
	14. X_{PP} 的氧化	ρ_{14}	$b_{PP} \cdot X_{PP} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}}$
	15. X_{PHA} 的氧化	ρ_{15}	$b_{PHA} \cdot X_{PHA} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}}$
硝 化 菌 X_{AUT}	16. 生长	ρ_{16}	$\mu_{AUT} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{AUT}$
	17. 自身氧化	ρ_{17}	$b_{AUT} \cdot X_{AUT}$
因 $Fe(OH)_3$ 引起的磷的沉淀	18. 沉淀	ρ_{18}	$k_{PRE} \cdot S_{PO_4} \cdot X_{MeOH}$
	19. 溶解	ρ_{19}	$k_{RED} \cdot X_{MeP} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}}$

反应速率表达式中参数推荐值 表 2

反应 序号	参 数	推 荐 值	
		20	10
1~3	K :水解速率常数(1/d)	3.00	2.00
	η_{NO_3} :缺氧水解减速因数	0.60	0.60
	η_{Fe} :厌氧水解减速因数	0.10	0.10
	K_{O_2} :氧饱和/抑制系数(gO_2/m^3)	0.20	0.20
	K_{NO_3} :硝酸根饱和/抑制系数(gN/m^3)	0.50	0.50
	K_r :颗粒COD 饱和系数($gCOD/gCOD$)	0.10	0.30
4~9	μ_H :最大生长速率(1/d)	6.00	3.00
	q_{Fe} :最大发酵速率($gCOD/gCOD \cdot d$)	3.00	1.50
	η_{NO_3} :反硝化减速因数	0.80	0.80
	b_H :氧化速率常数(1/d)	0.40	0.20
	K_{O_2} :氧饱和/抑制系数(gO_2/m^3)	0.20	0.20
	K_e :基于 S_F 生长的饱和系数($gCOD/m^3$)	4.00	4.00
	K_e :基于 S_F 发酵的饱和系数($gCOD/m^3$)	20.00	20.00
	K_A : S_A 饱和系数($gCOD/m^3$)	4.00	4.00
	K_{NO_3} :硝酸根饱和/抑制系数(gN/m^3)	0.50	0.50
	K_{NH_4} :氨氮饱和系数(gN/m^3)	0.05	0.05
	K_e :磷饱和系数(gP/m^3)	0.01	0.01
	K_{ALK} :碱度饱和系数($molHCO_3^-/m^3$)	0.10	0.10
10~15	q_{PHA} :PHA 贮藏速率常数($gCOD/gPAO \cdot d$)	3.00	2.00
	q_{PP} :PP 贮藏速率常数($gPP/gPAO \cdot d$)	1.50	1.00
	μ_{PAO} :最大生长速率(1/d)	1.00	0.67
	b_{PAO} : X_{PAO} 氧化速率常数(1/d)	0.20	0.10
	b_{PP} : X_{PP} 氧化速率常数(1/d)	0.20	0.10
	b_{PHA} : X_{PHA} 氧化速率常数(1/d)	0.20	0.10
	$K_{O_2}:S_{O_2}$ 饱和系数(gO_2/m^3)	0.20	0.20
	K_A : S_A 饱和系数($gCOD/m^3$)	4.00	4.00
	K_{NH_4} :氨氮饱和系数(gN/m^3)	0.05	0.05
	$K_{S_{PP}}$:PP 贮藏饱和系数(gP/m^3)	0.20	0.20
	K_e :磷饱和系数(gP/m^3)	0.01	0.01
	K_{ALK} :碱度饱和系数($molHCO_3^-/m^3$)	0.10	0.10
	K_{PP} :聚磷饱和系数($gPP/gPAO$)	0.01	0.01
	K_{MAX} : X_{PP}/X_{PAO} 最大值($gPP/gPAO$)	0.34	0.34
	K_{IPP} : X_{PP} 贮藏抑制系数($gPP/gPAO$)	0.02	0.02
	K_{PHA} :PHA 饱和系数($gPHA/gPAO$)	0.01	0.01
16~17	μ_{AUT} :最大生长速率(1/d)	1.00	0.35
	b_{AUT} :氧化系数(1/d)	0.15	0.05
	K_{O_2} :氧饱和系数(gO_2/m^3)	0.50	0.50
	K_{NH_4} :氨氮饱和系数(gN/m^3)	1.00	1.00
	K_{ALK} :碱度饱和系数($molHCO_3^-/m^3$)	0.50	0.50
	K_P :磷饱和系数(gP/m^3)	0.01	0.01

$$v_{1,S_F} = - (v_{1,S_F} \cdot k_{P,S_F} + v_{1,X_S} \cdot k_{P,X_S}) / k_{P,S_{PO_4}}$$

查表 3 和表 5 可知:

$$v_{1,S_F} = 1, v_{1,X_S} = -1, k_{P,S_{PO_4}} = 1$$

$$\text{则 } v_{1,S_F} = - [1 \cdot k_{P,S_F} + (-1) \cdot k_{P,X_S}] / 1$$

$$v_{1,S_F} = k_{P,X_S} - k_{P,S_F}$$

当已知 v_{ji} 和每个反应过程的速率常数 ρ_j , 则物质 i 的产率 [$ML^{-3}T^{-1}$] 为:

$$r_i = \sum v_{ji} \times \rho_j$$

以系统中可溶性物质 S_A 计算为例,由表 3 可知它与异养菌生长(反应 5)、反硝化(反应 7)、发酵(反应 8)、聚磷菌体内贮藏 X_{PHA} 及 X_{PHA} 氧化(反应 10 及反应 15) 有关,因此它的总变化速率 r_3 为:

$$r_3 = \sum v_{j3} \cdot \rho_j = (-1/Y_H) \times \rho_5 + (-1/Y_H) \times \rho_7 + 1 \times \rho_8 + (-1) \times \rho_{10} + 1 \times \rho_{15}$$

式中 $\rho_5, \rho_7, \rho_8, \rho_{10}$ 和 ρ_{15} 由表 1 可查出其各自表达式。

依此类推,污水中各种物质的浓度变化均可计算出。

三、ASM2 的使用限制

ASM2 适用于一般城市污水,若用于工业废水或特殊废水,则会出现较大偏差。此外,它适用于 $pH = 6.3 \sim 7.8$ 的污水,因模型碱度平衡计算基于 $pH = 6.9$ 的条件。模型适用的温度范围为 $10 \sim 25$,因聚磷菌在高温及低温条件下的性能变异至今尚未弄清。

ASM2 是 ASM1 的发展,它首次将含碳有机物及含氮有机物的去除与生物除磷反应包含在一个整体模型中,但至今对于生物除磷机理还未完全明了,尤其是发酵及厌氧水解过程对聚磷菌超量摄磷的影响还需作进一步研究,因此 ASM2 还不能说是一个很成熟的模型。

尽管 ASM2 有上述使用限制及不足,但它是活性污泥法工艺数学模型发展的一个突破,也是其发展的必然结果。它完整地包含了城市

可溶性物质和颗粒性物质计量矩阵及系数 (ω_{ji})

表 3

过程	$j \backslash i$	S_{O_2}	S_F	S_N	S_{NH_4}	S_{NO_3}	S_{PO_4}	S_{SLK}	S_{N_2}	X_i	X_S	X_H	X_{PAO}	X_{PP}	X_{PHA}	X_{AUT}	X_{TSS}
水解	1. 好氧水解		+1		+		+	+		-1							-
	2. 缺氧水解		+1		+		+	+		-1							-
	3. 厌氧水解		+1		+		+	+		-1							-
异养微生物	4. 基于 S_F 的生长	$1 - \frac{1}{Y_H}$	$-\frac{1}{Y_H}$		-		-	-				+1					+
	5. 基于 S_N 的生长	$1 - \frac{1}{Y_H}$		$-\frac{1}{Y_H}$	-		-	+				+1					+
	6. 基于 S_F 的反硝化		$-\frac{1}{Y_H}$		-	$\frac{1 - Y_H}{2.86 Y_H}$	-	+	$\frac{1 - Y_H}{2.86 Y_H}$			+1					+
	7. 基于 S_N 的反硝化			$-\frac{1}{Y_H}$	-	$\frac{1 - Y_H}{2.86 Y_H}$	-	+	$\frac{1 - Y_H}{2.86 Y_H}$			+1					+
	8. 发酵		-1	+1	+		+	-		f_{X_I}	$1 - f_{X_I}$	-1					-
聚磷菌	9. 氧化				+		+	+		f_{X_I}	$1 - f_{X_I}$	-1					-
	10. X_{PHA} 的贮藏			-1			$+Y_{PO_4}$	-					$-Y_{PO_4}$	+1			-
	11. X_{PP} 的贮藏	$-Y_{PHA}$					-1	+					+1		$-Y_{PHA}$		+
	12. 基于 X_{PHA} 的好氧生长	$1 - \frac{1}{Y_{PAO}}$			-		-	-				+1			$-\frac{1}{Y_{PAO}}$		-
	13. X_{PAO} 的氧化				+		+	+		f_{X_I}	$1 - f_{X_I}$	-1					-
硝化菌	14. X_{PP} 的氧化						+1	-					-1				-
	15. X_{PHA} 的氧化			+1				-							-1		-
	16. 生长	$-\frac{4.57 - Y_{AUT}}{Y_{AUT}}$			-	$\frac{1}{X_{AUT}}$	-	-								+1	+
X_{AUT}	17. 氧化				+		+	+		f_{X_I}	$1 - f_{X_I}$					-1	-

物质计量矩阵中各参数推荐值

表 4

种 类	参 数 名 称	推 荐 值
氮	溶解性 $k_{N_1} : S_1$ 中氮含量 (gN/gCOD)	0.01
	溶解性 $k_{N_2} : S_F$ 中氮含量 (gN/gCOD)	0.03
	颗粒性 $k_{N_1} : X_1$ 中氮含量 (gN/gCOD)	0.03
	颗粒性 $k_{N_2} : X_S$ 中氮含量 (gN/gCOD)	0.04
磷	$k_{NBM} : X_H, X_{PAO}, X_{AUT}$ 中氮含量 (gN/gCOD)	0.07
	溶解性 $l_{P_1} : S_1$ 中磷含量 (gP/gCOD)	0.00
	溶解性 $l_{P_2} : S_F$ 中磷含量 (gP/gCOD)	0.01
	颗粒性 $l_{P_1} : X_1$ 中磷含量 (gP/gCOD)	0.01
总悬浮固体	颗粒性 $l_{P_2} : X_S$ 中磷含量 (gP/gCOD)	0.01
	$l_{PBM} : X_H, X_{PAO}, X_{AUT}$ 中磷含量 (gP/gCOD)	0.02
	$h_{SSX_1} : TSS$ 与 X_1 比值 (gTSS/gCOD)	0.75
	$h_{SSX_S} : TSS$ 与 X_S 比值 (gTSS/gCOD)	0.75
异养菌	$h_{SSBM} : TSS$ 与 X_H, X_{PAO}, X_{AUT} 比值 (gTSS/gCOD)	0.90
	Y_H : 产率系数 (gCOD/gCOD)	0.63
聚磷菌	f_{X_I} : 惰性 COD 在氧化产物中比例 (gCOD/gCOD)	0.10
	Y_{PAO} : 产率系数 (gCOD/gCOD)	0.63
	Y_{PO_4} : 贮藏 PHA 所需 PP (gP/gCOD)	0.40
	Y_{PHA} : 贮藏 PP 所需 PHA (gCOD/gP)	0.20
硝化菌	f_{X_I} : 惰性 COD 在氧化产物中比例 (gCOD/gCOD)	0.10
	Y_{AUT} : 产率系数 (gCOD/gN)	0.24
硝化菌	f_{X_I} : 惰性 COD 在氧化产物中比例 (gCOD/gCOD)	0.10
	f_{X_I} : 惰性 COD 在氧化产物中比例 (gCOD/gCOD)	0.10

转 换 系 数 $k_{C,i}$

表 5

C 指标		COD	N	P	电 荷	质 量
i	物 质	$k_{OD,i}$ (gCOD)	$k_{N,i}$ (gN)	$k_{P,i}$ (gP)	$k_{电 荷,i}$ (mol ⁺)	$k_{TSS,i}$ (gTSS)
1	S _{O₂} (gQ)	- 1				
2	S _F (gCOD)	1	k_{S_F}	$l_{P_{S_F}}$		
3	S _N (gCOD)	1			- 1/ 64	
4	S _{N H₄} (gN)		1		+1/ 14	
5	S _{N O₃} (gN)	- 64/ 14	1		- 1/ 14	
6	S _{P O₄} (gP)			1	- 1.5/ 31	
7	S _I (gCOD)	1	k_{S_I}	$l_{P_{S_I}}$		
8	S _{A L K} (molCO ₂ ⁻)				- 1	
9	S _{N₂} (gN)	- 24/ 14	1			
10	X _I (gCOD)	1	k_{X_I}	$l_{P_{X_I}}$		$h_{S S X_I}$
11	X _S (gCOD)	1	k_{X_S}	$l_{P_{X_S}}$		$h_{S S X_S}$
12	X _{BI} (gCOD)	1	$k_{B M}$	$l_{P B M}$		$h_{S S B M}$
13	X _{P A O} (gCOD)	1	$k_{B M}$	$l_{P B M}$		$h_{S S B M}$
14	X _P (gP)			1		3.23
15	X _{P H A} (gCOD)	1				0.60
16	X _{A U T} (gCOD)	1	$k_{B M}$	$l_{P B M}$		$h_{S S B M}$
17	X _{T S S} (gTSS)					- 1

颗粒状厌氧污泥膨胀床 Biobed^R EGSB 污水处理工艺

郝晓地 张临新

[提要] 80年代首创于荷兰的颗粒状厌氧污泥膨胀床 Biobed[®] EGSB 污水处理工艺,从90年代起逐渐在世界范围内开始应用。该工艺集升流式厌氧污泥床(UASB)和厌氧流化床(AFB)之特点于一体,具有大颗粒污泥与高水力负荷、高有机负荷等明显优势,并具备有别于UASB和AFB的特点。本文介绍 Biobed[®] EGSB 的结构特点、运行原理、性能优势及其应用实例。

[关键词] 颗粒状厌氧污泥膨胀床 Biobed[®] EGSB 三相分离器 液体表面上升流速 出水回流

尽管污水厌氧处理工艺存在多种选择,但近20年来的工程实践表明,以升流式厌氧污泥床(UASB)和厌氧流化床(AFB)较为盛行^[1~9]。早年开发于荷兰的UASB目前在世界范围内的工程应用实例已有300多处。UASB主要依赖于反应器内的颗粒状污泥及三相分离器发挥其有效作用。然而,UASB在实际应用中也存在着不足,例如,所允许的液体表面上升流速很低(0.5~1.0m/h)^[10,11],启动并达到稳定状态的时间较长^[5,12~15],以及不适合于处理SS含量高的污水等等^[10,16]。在反应器内部环境条件及营养物质适宜的情况下,UASB的启动与污泥颗粒化主要取决于反应器内部的水动力学特征^[12]。UASB受反应器内部构造——三相分离

器的限制,代表内部水动力学特征参数,如液体表面上升流速、气体表面上升率及水力停留时间等恐怕难以得到明显改善^[12,13]。

AFB固然可以弥补UASB上述某些方面的不足^[17,18],但反应器内载体(填料)表面生物膜附着控制技术一般来说比较复杂,特别是在初始启动阶段^[19,20]。

若能将UASB和AFB的特点结合起来,有可能取长补短,产生一种更新的工艺。为了这一目的,荷兰Biothane Systems公司从80年代初便开始致力于这方面的研究、开发及应用工作^[11]。经20多年的试验研究与实际应用,Biothane Systems公司最终设计出定型的专利新工艺——颗粒状厌氧污泥膨胀床 Biobed[®]。

污水处理的碳、氮、磷的去除,为活性污泥法数学模型的发展和完善提供了基点。由于计算技术的飞速发展,据ASM2可编制方便且实用的软件以供教学、研究、污水厂运行和设计使用。

参考文献

- [1] W. Gujer et al, "The Activated Sludge Model No. 2: Biological phosphorus Removal", Wat. Sci. Tech., Vol. 31, No. 2, 1995.

- [2] Henze M. et al, "Activated Sludge Model No. 2, IAWQ Scientific and Technical reports", No. 3, IAWQ, London 1995.

作者通讯处:100044 北京建筑工程学院给排水教研室
电话:(010) 68322128(O)

收稿日期:1998-2-27