

基于 ASM1 变化模型的进展

文 / 刘芳 顾国维 蓝梅

(上篇)

ASM1 主要描述了碳氧化过程。如果要描述其它反应过程,就需要扩展 ASM1,引入另外的动力学反应及模型组分。限于污水处理厂的设计、运行和水质检测的水平,加上模型结构和参数的复杂性,直接应用整套模型具有一定的难度,现列举一系列简化或扩展模型。

1、ROM 模型 (Reduced Order Model)

1993 年,Jeppsson 在 ASM1 模型的基础上推出了 ROM 模型。该模型做出如下假设:

1) 假设 DO 恒定,相关的生长速率表达式不受 DO 的限制,但 DO 的物质平衡关系仍然是预测耗氧速率和呼吸速率的基础;

2) 不考虑快速吸附现象,将溶解性物质和贮存物质结合在一起讨论微生物吸附和生长问题;

3) 假设可生物降解有机碳、氨态氮、硝态氮和进水流量可以在线检测;

4) 不区分溶解性 COD 和颗粒性 COD;

5) 假设氨态氮可以检测,但其形成机理不予考虑;

6) 假设异氧菌和自养菌的衰减物质直接形成有机质和氨。

由于简化原因,ROM 模型保留了 IAWQ 模型提出的 8 个反应过程中的 4 个过程,其组分和过程均列于表 1。表中 Y_H 、 Y_A 、 r_H 、 r_A 、 b_H 、 b_A 假设是可变的,需要经常验证,参数 i_{XB} 假设是已知的并且是恒定的。

2、生物吸附模型 (Biosorption Model)

虽然“可溶性 COD”这一概念经常在废水处理实践及工艺模拟中使用,但可溶性物质的生物吸附、积累、储存和再生

机理并没有包含在目前研究比较广泛的模型中(如 ASM1)。为此,Libor Novak 于 1995 年推出了生物吸附模型,定义了一类可溶性 COD 组分,将基质去除的吸附-再生动力学结合起来。可溶性 COD 定义为废水中可以通过 Whatman GF/C 滤膜的物质,具体包括 S_1 、 S_S 和 S_R (快速水解物质)。该模型做了如下假设和简化:

1) 仅考虑废水中含碳组分的生物吸附,假定颗粒性物质立即结合到絮体上或被过滤掉;

2) 仅考虑 S_S 和 S_R 的生物吸附, S_1 在系统中没有变化;

3) 不考虑可溶性有机氮的生物吸附,氮的转化过程按 ASM1 中描述的进行;

4) 假定吸附过程不消耗能量;

5) 所有的吸附动力学都是针对异氧菌而言。

生物吸附模型共包含 17 个组分: X_1 、 S_S 、 S_R 、 S_H (可溶性生物降解水解产物)、 S_{NO} 、 S_{NH} 、 S_{ND} 、 X_{ND} 、 X_1 、 X_S 、 X_{IN} (吸附的 S_S)、 X_{EX} (吸附的 S_R)、 X_{BH} 、 X_{BA} 、 X_P 、 X_O 、 X_{ALK} ; 15 个反应过程: 异氧菌基于 X_{IN} 的好氧生长/缺氧生长、异氧菌基于 S_R 的好氧生长/缺氧生长、异氧菌基于 S_H 的好氧生长/缺氧生长、自氧菌好氧

表 1 ROM 模型的反应过程及组分

组分	缺氧				好氧				反应速率			
	X_{COD}	S_{NH}	S_{NO}	X_B	X_{BA}	反应速率	X_{COD}	S_{NH}		S_O	X_{BH}	X_{BA}
异氧菌生长	$-\frac{1}{Y_H}$	i_{XB}	$-\frac{1-i_{XB}}{2.86 Y_H}$	1	$r_H X_{COD}$	X_{BH}	$-\frac{1}{Y_H}$	$-i_{XB}$		1		r_H X_{COD} X_{BH}
自养菌生长								$-i_{XB}$	$-\frac{1}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	1	$r_A S_{NH}$ X_{BA}
异氧菌衰减	$1-i_{XB}$	i_{XB}			$b_H X_{BH}$		$1-i_{XB}$	i_{XB}			-1	b_H X_{BH}
自养菌衰减	$1-i_{XB}$	i_{XB}			$b_A X_{BA}$		$1-i_{XB}$	i_{XB}			-1	b_A X_{BA}

生长、异氧菌衰减、自氧菌衰减、 S_S 吸附、 S_R 吸附、 X_{EX} 水解、 X_S 水解、 X_{ND} 水解、 S_{ND} 氨化。

3 氧化-硝化模型 (Oxidation-Nitrification Model)

1995年, Henri 提出了氧化-硝化模型。该模型既是 ASM1 的简化, 又是 ASM1 的扩展。该模型提出如下的假设与变化:

1) 设系统中 DO 的浓度不受限制, 因此不考虑反硝化过程;

2) 快速水解物质 (X_R) 取代了慢速可降解物质 (X_S);

3) 水解过程假定呈一级反应动力学;

4) 衰减过程直接与氧的内源消耗相关;

5) 快速易生物降解物质分为两部分, 其中一部分由水解产生, 这两部分的数量相等;

6) 与水解过程一样, 氨化过程不取决于微生物浓度。

氧化-硝化模型包含 10 个组分: S_{S1} 、 S_{S2} 、 X_R 、 X_{BH} 、 X_{BA} 、 X_I 、 S_O 、 S_N 、 S_{ND} 、 X_{ND} ; 8 个反应过程: 异氧菌基于 S_{S1} / S_{S2} 的生长、自氧菌的生长、异氧菌的衰减、自氧菌的衰减、有机物的快速水解、氨化和有机氮的水解(见表 2)。

4 扩展硝化模型 (Extended Nitrification Model)

在 ASM1 中, 硝化过程为单阶段反应, 自氧菌将氨直接转化为硝酸盐。在 10~20℃ 之间, 硝化细菌的最大比生长速率远大于亚硝化单胞菌。但在 25℃ 以上, 硝化细菌的最大比生长速率几乎与亚硝化单胞菌的在同一个范围之内, 这时亚硝酸盐的产生就是一个比较显著的问题。为了在较高的温度下模拟活性污泥系统, 硝化过程应该描述为两阶段反应。

表 2 氧化-硝化模型的化学计量系数和反应速率

反应	S_{S1}	S_{S2}	X_R	X_{BH}	X_{BA}	X_I	S_O	S_N	S_{ND}	X_{ND}	反应速率
异氧菌基于 S_{S1} 的生长	$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$		$-i_{NH}$		$\mu_{mH1} \frac{S_{S1}}{K_{S1} + S_{S1}} X_{BH}$
异氧菌基于 S_{S2} 的生长		$-\frac{1}{Y_H}$					$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$		$-i_{NH}$		$\mu_{mH2} \frac{S_{S2}}{K_{S1} + S_{S2}} X_{BH}$
自氧菌生长					1		$-\frac{4.57 - Y_A}{Y_A}$				$\mu_{mA} \frac{S_N}{K_N + S_N} X_{BA}$
异氧菌衰减						-1	f_r		$-(1-f_r)$		$b_H X_{BH}$
自氧菌衰减						-1	f_r		$-(1-f_r)$		$b_A X_{BA}$
有机物快速水解	1										$k_R X_R$
氨化									1	-1	$k_{ND} S_{ND}$
有机氮水解										1	$\rho_0 (X_{ND}/X_R) = k_R X_{ND}$

4.1 两阶段硝化模型 (Two-Stage Nitrification Model)

O. Nowak 于 1995 年提出了两阶段硝化模型, 将两类硝化细菌的各自衰减过程同时引入到模型中。另外考虑到在厌氧状态下活性污泥氨氧化的能力可维持几天, 而亚硝酸盐氧化的能力却降低的现象, 该模型假定在没有氧和硝酸盐存在的情况下, 氨氧化菌的衰减速率等于 0, 而在缺氧和厌氧两种状态下亚硝酸盐氧化细菌的衰减速率相等。

该模型包含 8 个组分: S_{O_2} 、 S_{NH_4} 、 S_{NO_2} 、 S_{NO_3} 、 X_M (氨氧化细菌)、 X_N (亚硝酸盐氧化细菌)、 X_P 、 X_S ; 6 个反应过程: X_M 的好氧生长/好氧衰减/缺氧衰减、 X_N 的好氧生长/好氧衰减/缺氧衰减。

4.2 扩展硝化模型 (Extended Nitrification Model)

ASM1 主要用于模拟处理生活污水的活性污泥系统的动力学行为, 为了将此模型用于处理工业废水的系统, O. Nowak 又提出了扩展硝化模型。该模型做出了如下的变化与假设:

1) 该模型主要是研究和控制硝化反应;

2) 异氧菌的动力学参数参考 Henze 等;

3) 水解过程假定呈一级反应动力学;

4) 所有的有机氮与颗粒性 COD 组分相关, 微生物体经衰减释放出有机氮, 并经水解转化成 S_{NH_4} ;

5) 引入了非竞争性抑制组分, 抑制动力学中描述的关键组分如 S_{ini} 、 X_{imb} 与 X_E 的含量较低, 因此不参与物料平衡的计算;

6) 对于抑制剂的水解, 引入三种过程: X_H 产生 X_E (酶); 通过酶 X_E 的作用, X_{imb} 的降解; X_{imb} 不存在的情况下 X_E 的水解。

扩展硝化模型包含 14 个组分: S_{O_2} 、 S_S 、 S_{NH_4} 、 S_{NO_2} 、 S_{NO_3} 、 S_{ini} (非竞争性可溶性惰性抑制剂)、 X_H 、 X_M 、 X_N 、 X_I 、 X_P 、 X_S 、 X_{imb} (吸收的非竞争性可降解抑制剂)、 X_E ; 15 个反应过程: X_H 的好氧生长/缺氧生长 (NO_2) / 缺氧生长 (NO_3) / 衰减、 X_M 的好氧生长/衰减/缺氧衰减、 X_N 的好氧生长/衰减/缺氧 (厌氧) 衰减、 X_S 好氧/缺氧水解、 X_E 的产生、 X_{imb} 的降解、 X_E 的水解。

(作者单位: 同济大学)