

文章编号:1000-582X(2002)03-0109-06

活性污泥法动力学模型研究进展和展望

卢培利,张代钧,刘颖,王飞

(重庆大学资源及环境科学学院,重庆 400044)

摘要:从模型的机理、功能和表述形式等方面对活性污泥法动力学模型的研究进展进行了全面的综述,详细介绍了发展进程中具有重要意义几种模型:Eckenfelder模型、Mckinney模型、Lawrence-McCarty模型、Andrews模型、WRc模型及国际水协的3套模型,分析比较了各自的优点和不足。结合环境微生物学研究成果和废水处理技术的发展方向,分析讨论了活性污泥法动力学模型研究需要解决的一些重要问题,提出今后的研究可能主要集中于废水组分的进一步细化、污水处理厂运行快速自动模拟预测及控制系统和污水处理厂设计自动化系统的开发与完善等方面,逐步缩小我国在模型使用方面与国外的差距。

关键词:废水生物处理;活性污泥法;模型

中图分类号:X703

文献标识码:A

活性污泥法是废水生物处理中应用最广泛的方法之一。起初对于活性污泥过程的设计和运行管理主要依靠经验数据,自20世纪50年代后期,Eckenfelder等人基于反应器理论和生物化学理论提出活性污泥法静态模型以来,动态模型研究不断发展,已成为国际废水生物处理领域的研究热点。但我国在该领域的研究尚处于起步阶段,与国际先进水平存在很大差距。笔者就活性污泥法动力学模型研究进展进行了全面的综述,结合现代环境微生物学研究成果和废水监测技术的发展,提出了一些研究展望,以期推动和促进我国活性污泥动力学模型研究和应用的发展。

1 微生物模型

微生物模型描述的是微生物生长和限制生长的基质浓度之间的关系,是活性污泥法数学模型的理论基础。微生物模型的不断发展推动了活性污泥数学模型研究的日趋深入。

1.1 Monod模型

1942年,Monod发现均衡生长的细菌的生长曲线与活性酶催化的生化反应曲线类似,1949年发表了在静态反应器中经过系统研究得出的Monod模型^[1]:

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{s}{k + s}$$

Monod模型实质上是一个经验式,是在单一微生物对单一基质、微生物处于平衡生长状态且无毒性存在的条件下得出的结论。大多数实际过程并非如此。所以,在应用中对适用条件的忽视常常导致Monod模型的失败。

1.2 微生物综合模型

针对实际情况总是多基质并存的现象,提出了微生物在混合基质条件下生长的综合模型。根据微生物对同时存在的基质的利用方式,分为以下几种模式^[2]:

1) 微生物同时利用几种基质: $\mu = \mu_{\max} \cdot \prod_{i=1}^n \frac{C_i}{K_i + C_i}$

2) 微生物分别利用数种基质: $\mu = \sum_{i=1}^n \left(\mu_{\max} \cdot \frac{C_i}{K_i + C_i} \right)$

3) 一种基质被同时用作多种用途时: $\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S^a}{K^m + S^a}$

2 活性污泥法数学模型

活性污泥法数学模型的发展经历了从简单的拟合实验数据,到采用经典微生物生长动力学模型,直至现在的根据生物处理自身的特性进行过程分析和辨识的

• 收稿日期:2001-12-08

作者简介:卢培利(1975-),男,安徽省蚌埠市人,重庆大学硕士研究生。主要从事废水处理技术与工程方面的研究。

过程。

2.1 传统静态模型

传统静态模型以 20 世纪 50 - 70 年代推出的 Eckenfelder, Mckinney、Lawrence - McCarty 模型为代表, 这些模型所采用的是生长 - 衰减机理^[3](图 1)。

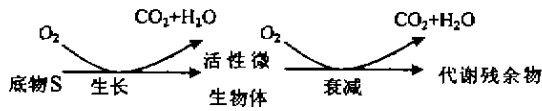


图 1 生长 - 衰减机理

2.1.1 Eckenfelder 模型

该模型是 W. W. Eckenfelder, Jr 对间歇试验反应器内微生物的生长情况进行观察后于 1955 年提出的。当微生物处于生长率上升阶段时, 基质浓度高, 微生物生长速度与基质浓度无关, 呈零级反应: $\frac{dX}{dt} = K_1 \cdot X$

当微生物处于生长率下降阶段时, 微生物生长主要受食料不足的限制, 微生物的增长与基质的降解遵循一级反应关系: $\frac{dX}{dt} = K_2 \cdot S$

当微生物处于内源代谢阶段时, 微生物进行自身氧化: $\frac{d(X' - X)}{dt} = K_3 \cdot X$

2.1.2 McKinney 模型

该模型是由 R. E. McKinney 在 20 世纪 60 年代初发表的。与 Eckenfelder 模型相比, McKinney 模型忽略了微生物浓度对基质去除速度的影响, 认为在活性污泥反应器内, 与微生物浓度相比, 属低基质浓度, 微生物处于生长率下降阶段, 代谢过程为基质浓度所控制, 遵循一级反应动力学。McKinney 模型可以表述为:

$$\frac{dF}{dt} = -K_m \cdot F$$

McKinney 模型还首次提出活性物质的概念, 认为活性污泥中只有部分具有活性的微生物对基质降解起作用。虽然当时还无法直接测定活性物质, 但这一概念的提出, 为活性污泥模型的研究开拓了新的思路。

2.1.3 Lawrence - McCarty 模型

A. W. Lawrence 和 P. L. McCarty 于 1970 年提出的 Lawrence - McCarty 模型最先将 Monod 方程引入废水生物处理领域, 该模型的基本方程式为:

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \cdot U_s - K_d \quad U_s = v_{max} \cdot \frac{S_c}{K_1 + S_c}$$

Lawrence - McCarty 模型的突出之处是强调了细胞平均停留时间(泥龄)的重要性, 由于泥龄可以通过控

制污泥的排放量进行调节, 因此增强了模型在实际应用中的可操作性。

2.2 活性污泥法动态模型

传统静态模型因具有形式简单, 变量可直接测定, 动力学参数测定和方程求解较方便, 得出的稳态结果基本满足工艺设计要求等优点, 曾得到广泛应用^[4]。然而, 长期实际应用经验也表明, 这种基于平衡态的模型丢失了大量不同平衡生长状态间的瞬变过程信息, 忽视了一些重要的动态现象, 应用到具有典型时变特性的活性污泥工艺系统中时, 带来许多问题^[6]; 无法解释有机物的“快速去除”现象; 不能很好的预测基质浓度增大时微生物增长速度变化的滞后, 因而无法精确模拟氧利用的动态变化; 得出的出水基质浓度与进水浓度无关的结论与实际不符。只注重稳态特性的研究方法是造成传统模型局限性的重要原因, 要突破这种局限, 就必须建立动态模型。

2.2.1 Andrews 模型

Andrews 模型由美国的 J. F. Andrews 等于 20 世纪 80 年代提出^[3,6]。该模型提出了贮存 - 代谢机理(图 2)。该机理认为在活性污泥过程中, 非溶解性有机物和部分溶解性有机物首先被生物絮体快速吸附, 以胞内贮存物 X_{STO} 的形式被贮存, 然后再被微生物利用。这一机理的引入, 合理解释了有机物的“快速去除”现象, 很好的预测了实际中观察到的底物浓度增加时微生物增长速度变化的滞后现象和耗氧速率的动态变化。

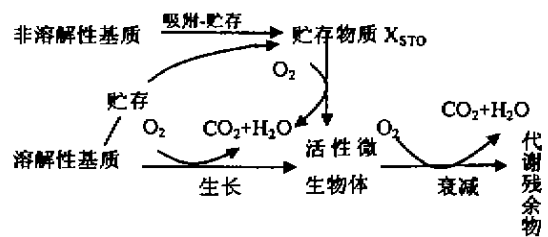


图 2 贮存 - 代谢机理

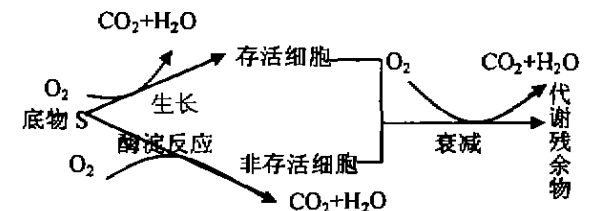


图 3 存活 - 非存活细胞代谢机理

2.2.2 WRc 模型

WRc 模型是英国水研究中心 (Water Research Center) 提出的。WRc 模型引入了存活 - 非存活细胞

代谢机理(图 3),认为存活力并非生物活性的先决条件,生物活性可因细胞破裂,酶的溢出而得到增强,相当大程度的生物活性是由这些非存活细胞提供的^[3,6]。非存活细胞的代谢作用使有机物的降解可以在不伴随微生物量增加的情况下发生,以此解释在采用 Monod 方程描述废水生物处理过程导致细胞浓度预测值偏高的原因。

2.2.3 IWA 模型

Andrews 模型和 WRc 模型分别运用不同的机理解释了传统静态模型无法解释的某些现象,但这类模型仍存在两个主要问题:一是微生物衰减按内源呼吸理论来描述,未考虑代谢残余物的再利用;二是只描述了废水中含碳有机物的去除过程,无法模拟预测氮和磷的降解。针对这两个问题,国际水协会(International Water Association, IWA)于 1983 年组织南非、日本、美国、丹麦、荷兰等 5 国专家成立活性污泥通用模型国际研究小组,致力于新的活性污泥数学模型的开发,并于 1987、1995 和 1999 年陆续推出 3 套模型。

2.2.3.1 活性污泥 1 号模型

活性污泥 1 号模型(Activated Sludge Model No. 1, ASM No. 1)于 1987 年推出^[7]。该模型着重于废水生物处理的基本原理、过程及其动态模拟,首次把氮的去除纳入模型,在表述上采用矩阵形式,使模型更加直观,易于理解。ASM No. 1 采用了 Dold 等人提出的死亡-再生(death - regeneration)的模型化方法,但未接受贮存-代谢机理,而采用“死亡-再溶解”机理(图 4),体现了对代谢残余物的再利用。

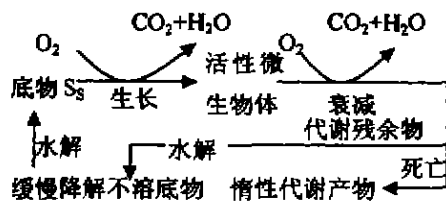


图 4 死亡-再溶解机理

ASM No. 1 模型矩阵共有 8 行 13 列,表示活性污泥过程的 8 种生物化学反应和 13 种模型组分,行与列的交叉处为组分对过程的化学计量系数。化学计量系数通过对每一个过程的 COD、N 和碱度的平衡计算得到^[8]。另外,模型矩阵还给出了各反应的反应速率。如果令反应速率为一行向量 $\rho = (\rho_1 \rho_2 \dots \rho_8)$, 计量系数矩阵

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{113} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{213} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{81} & S_{82} & \dots & S_{813} \end{bmatrix}, V = (v_1 v_2 \dots v_{13})$$

表示每组分对过程的表观转化速率。则, $V = \rho \cdot S$ 。

2.2.3.2 活性污泥 2 号模型

近 10 年的实践证明:ASM No. 1 是一种很有用的工具,在欧美得到广泛使用^[9]。但其主要缺陷是未包含除磷过程。为此,IWA 于 1995 年推出活性污泥 2 号模型(ASM No. 2)^[10,11,12]。该模型沿用了 ASM No. 1 的矩阵表述形式和物质平衡计算两大特点,引入聚磷微生物(Phosphorus Accumulation Organisms, PAO),将生物和化学除磷过程纳入模型中。ASM No. 2 共有 19 种组分、19 个生物化学反应过程、22 个化学计量系数和 42 个动力学参数。但由于至今对生物除磷的机理还未完全明了,ASM No. 2 的应用还存在一些限制,如适用 PH 范围是 6.3 ~ 7.8,适用温度范围是 10 ~ 25℃,发酵及厌氧水解过程对 PAO 超量摄磷的影响还需做进一步研究等。因此,ASM No. 2 还不能说是一个很成熟的模型。但它是活性污泥模型发展的一个突破,为模型发展和完善提供了基点。1999 年推出的 ASM No. 2d 就是对 ASM No. 2 的一次完善,主要考虑了反硝化除磷过程^[13]。

2.2.3.3 活性污泥 3 号模型

活性污泥 3 号模型(ASM No. 3)于 1999 年推出^[5,6],不包括除磷过程,该模型与 ASM No. 1 的区别体现在:

- 1) 采纳了有机物的贮存-代谢机理,在细胞衰减方面沿用内源呼吸理论。假定 X_{STO} 是异养菌生长的唯一-基质,使模型大大简化。
- 2) 将水解过程加以简化,从而减弱了水解作用对耗氧速率和反硝化速率的控制作用。
- 3) 综合考虑了环境条件对生物衰减过程的影响,将衰减过程细化,使其更适应环境条件。
- 4) 考虑到生物体自身氧化的同时伴随着其胞内贮存物的氧化,并认为其氧化速率大于微生物自身氧化速率。
- 5) 在 ASM No. 3 中,溶解性和颗粒性组分可以用 0.45μm 膜过滤器很好的区分辨别,而在 ASM No. 1 中, X_s 可能会被留在滤出液中。

由于 ASM No. 3 刚推出不久,它的准确性和实用价值还需要通过大量实验和实际应用进行验证。

3 IWA 活性污泥模型存在的问题

IWA 推出的 3 套模型在形式和功能上都较以前的模型有了较大突破,有效指导了活性污泥法新工艺的开发、污水处理厂的设计、改造和运行管理^[9,14,15,16,17],得到世界的充分肯定,是当今活性污泥模型研究的主流。但是,由于微生物生长过程的复杂性,活性污泥系统中微生物种类和污染物质的多样性,导致人们对某些机理认识不清,使得模型中还存在不少问题有待进一步研究解决。

1) IWA 的活性污泥模型对水质组分及生物化学反应过程进行了详细划分,从而引出众多的组分浓度、化学计量学以及动力学参数值需要确定的问题。但是,由于当前监测、分析的方法和手段的限制,许多量还不能直接或准确测定,影响了模型的推广。目前, IWA 的专家们正致力于测定方法的简单化、规范化工作。

2) IWA 的活性污泥模型包含了碳氧化和反硝化过程,起作用的微生物均为异养菌。但至今仍不清楚是只有部分异养菌有反硝化能力,还是全部异养菌都有反硝化能力。所以,模型中对这两种异养菌未加以区分,只是认为缺氧过程速率更小而引入缺氧减速因数 η_{NO} 。

3) 为了能够对现代污水处理厂的设计和运行管理给予全面有效的指导,活性污泥模型必须包括除磷过程,但目前对生物除磷机理还未完全明了,尤其是发酵和厌氧水解过程对 PAO 超量摄磷的影响还需作进一步研究。

4) 具有代谢活性的微生物量的准确度量对模型预测结果的精确性起到至关重要的作用。长期以来,在活性污泥系统中,微生物的量均以 MLSS 或 MLVSS 来计量,事实上,早在 20 世纪 60 年代,McKinney 就曾指出,对处理生活污水的活性污泥,MLSS 只含有 30%~50% 活的微生物体,Weddle 和 Jenkins 的研究也表明异养微生物只占 MLVSS 的 10%~20%^[11]。Jones 等人提出的非存活细胞代谢活性的学说认为,细胞破裂溢出的酶也可以降解有机物,使具有代谢作用的物质的计量就不仅仅是活的微生物的计量问题,还牵涉到具有代谢作用的非存活细胞的计量。

4 活性污泥数学模型研究展望

经过各国学者将近半个世纪的不断研究和探索,

活性污泥模型得到了长足的发展,并在实际应用中逐步显示出了其价值,但与人们的要求还有差距。随着科学技术的进步和人们对环境质量要求的不断提高,活性污泥数学模型必将会有更大的发展,可能主要集中于以下 3 个方面。

4.1 废水组分的进一步细化

城市污水作为活性污泥法的主要处理对象,其成分远比一般工业废水复杂。在条件允许的情况下,对污染物质尽可能的细分,并针对不同物质给出各自的微生物利用速率,必将对模拟预测结果的精确性带来质的提高。在这方面,微生物学领域已进行了更为深入的研究。微生物生长的综合模型对微生物以不同方式利用不同基质(包括有机物、电子供体、电子受体和微量营养物质等)的过程进行了描述,并在实践中得到成功运用,如,Nguyen 等人于 1992 年利用该模型描述了甲苯、二甲苯和苯乙烯的生物降解动力学过程;Hwang 等人在 1997 年利用该模型描述了当溶解氧成为限制性因素时丙酮的生物降解过程^[2]。微生物学作为废水生物处理的理论基础,其有关微生物生长的综合模型必将引导活性污泥数学模型朝向组分细化的方向发展,并且这种趋势已经体现在以往活性污泥数学模型的发展进程中,例如,ASMNo.1 把 COD 划分为 S_1 、 S_2 、 X_1 、 X_2 4 种组分,ASMNo.2 又把 S_1 进一步细分为 S_{A1} 和 S_{F1} 。

4.2 污水处理厂运行快速自动模拟预测及控制系统

模型的完整性和精确性以其自身的复杂性为代价,当代计算机技术的发展和运用使复杂的运算过程变得简单,并且,国外已开发出几套商业化的模拟软件^[18,19](表 1)。而软件运行首先必须要有原始数据的输入。如今,监测、分析的方法和手段不断进步,各类物质(溶解氧、温度、PH 和 PO_4^{3-} 等)的在线实时自动监测技术已在实践中有所运用^[20]。可以预计,在不久的将来,把自动监测技术和活性污泥模拟软件联合起来组成一个系统,在线监测系统对进水水质进行监测并将原始数据传输至模拟系统,由模拟系统对出水水质进行模拟预测,并根据预测结果对运行参数(曝气量、排泥量、水力停留时间等)进行调节,以保证出水水质的稳定性。这样一套高度自动化的监测—分析—模拟、预测—调节系统的建立,对污水处理厂的工作效率、管理水平的提高以及处理设施的稳定、高效运行等都将具有空前的意义。

表 1 常用商业化活性污泥模拟软件

名称	SSSP	EFOR	ASIM	GPS-X	SBRSIM
性能	执行 ASM No.1	执行 ASM No.1 和一个沉淀池模型	执行 ASM No.1 和 ASM No.2 及其它模型	执行 ASM No.1 和 ASM No.2 及其它单元	执行用于 SBR 反应器的 ASM No.1
开发商	C. P. Leslie Grady Jr., Environmental Systems Engineering, Rich Environmental Research Lab., Clemson University, Clemson, SC 29643 - 0919 USA	Jan Peterson, I. Kruger AS, Gladsaxe-vej 363, DK-2860 Soborg, Denmark	Willi Gujer, EAWAG, Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology, CH-8600 Dübendorf, Switzerland	Hydromantis, Inc., 1685 Main St. West, Suite 302, Hamilton, Ontario L8S 1G5 Canada	Jürgen Oles, Technical University, Hamburg-Harburg, Eissen-dorfer, Strasse 42, 2100, Hamburg 90, Germany

4.3 污水处理厂设计自动化系统

活性污泥模型是目前污水处理厂设计的主要方法,基于各类模型而开发出的各种设计软件使设计工作的自动化程度有所提高,但这些软件主要针对于单体构筑物或少数几个处理单元,智能化、系统化程度不高。未来的设计软件可能只需要少数几个基础资料的输入,就会自动完成整个污水处理厂的全部设计工作,包括最佳方案确定、构筑物尺寸计算、管道设计、平面及高程布置、投资和运行成本的估算等。

5 结束语

活性污泥法数学模型经历半个世纪的发展,已经从简单静态模型发展到今天的复杂动态模型,其在污水处理厂设计、运行管理以及科学研究中的作用日益突出,计算机技术的进一步发展拓展了其适用空间,各类设计、模拟软件层出不穷。但在我国,这一领域的研究还未完全展开,当务之急是迈开具体使用的步伐,加速全国范围内的基础资料的收集和具有自主知识产权的软件的开,从而逐步缩小我国在模型使用方面与国外的差距。

符号说明: μ_{\max} —最大比生长速率(d^{-1}); S —基质浓度(mg/L); K —基质饱和常数(mg/L); C_i —基质 i 的浓度(mg/L); K_i —基质 i 的饱和常数(mg/L); X —微生物浓度(mg/L); X' —生长率下降阶段末的微生物浓度(mg/L); K_1 —对数增长速度常数(d^{-1}); K_2 —减速增长速度常数($mg^{-1} \cdot d^{-1}$); K_3, K_d —衰减常数(d^{-1}); F — t 时刻残存基质浓度(mg/L); K_m —基质去除速度常数(d^{-1}); θ_c —细胞平均停留时间(d); U_s —基质比去除速度(d^{-1}); V_{\max} —基质最大比去除速度(d^{-1}); S_e —出水基质浓度(mg/L); S_s —溶解性可生物降解有机物; S_i —溶解性不可生物降解有机物; X_s —颗粒性可慢速生物降解有机物; X_i —颗粒性不可生物降解有机物; S_A —发酵产物,主要指醋酸盐; S_F —溶解性易发酵有机物。

参考文献:

- [1] 顾夏声. 废水生物处理数学模式(第二版)[M]. 北京:清华大学出版社,1993.
- [2] 张锡辉. 高等环境化学与微生物学原理及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2001.
- [3] 黄勇,杨铨大,王宝贞,等. 废水生物处理过程的结构化模型[J]. 中国给水排水,1992,8(6):29-32.
- [4] 黄勇,杨铨大,王宝贞,等. 活性污泥生物反应动力学模型研究[J]. 环境科学研究,1995,8(4):23-27.
- [5] GUJER W, HENZE M, MINO T, et al. Activated Sludge Model NO.3[J]. Wat. Sci. Tech., 1999,39(1):183-193.
- [6] 彭永臻,高景峰,隋铭皓. 活性污泥法动力学模型的研究与发展[J]. 给水排水,2000,26(8):15-19.
- [7] 郑兴灿,李亚新. 废水生物除磷脱氮技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998.
- [8] BARKER PS, DOLD PL. COD and Nitrogen Mass Balances in Activated Sludge System[J]. Wat. Res., 1995, 29(2): 633-643.
- [9] COEN F., VANDERHAEGEN B., BOONEN I., et al. Improved Design and Control of Industrial and Municipal Nutrient Removal Plants Using Dynamic Model [J]. Wat. Sci. Tech., 1997,35(10):53-61.
- [10] GUJER W, HENZE M, MINO T, et al. The Activated Sludge Model NO. 2: Biological Phosphorus Removal[J]. Wat. Sci. Tech., 1995,31(2): 1-11.
- [11] GUJER W, HENZE M, MINO T, et al. Wastewater and Biomass Characterization for the Activated Sludge Model NO. 2: Biological Phosphorus Removal [J]. Wat. Sci. Tech., 1995,31(2):12-22.
- [12] 吴俊奇,汪慧贞. 活性污泥法 2 号模型(ASM2)简介[J]. 给水排水,1998,24(6):13-18.
- [13] HENZE M, GUJER W, MINO T, et al. Activated Sludge Model NO. 2d, ASM2d[J]. Wat. Sci. Tech., 1999,39(1):165-182.
- [14] BRDJANOVIC DAMIR, VAN LOOSDRECHT MARK CM, VERSTEEG PAOL, et al. Modeling COD, N and P Removal in a Full-Scale WWTP HAARLEM WAARDERPOLDER[J]. Wat. Res., 2000,34(3):846-858.
- [15] CINAR ÖZER, DAIGGER GLEN T, GRAEF TEPHEN PS, et

- al. Evaluation of IAWQ Activated Sludge Model NO. 2 Using Steady - State Data from Four Full - Scale Wastewater Treatment Plants [J]. Water Environment Research, 1998, 70 (6): 1 216 - 1 223.
- [16] VAN VELDHUIZEN H. M., VAN LOOSDRECHT MCM, HEIJNEN J, et al. Modeling Biological Phosphorus and Nitrogen Removal in a Full - Scale Activated Sludge Process [J]. Wat. Res., 1999, 33 (16): 3 459 - 3 468.
- [17] KOCH G. Calibration and Validation of Activated Sludge Model NO. 3 for Swiss Municipal Wastewater [J]. Wat. Res., 2000, 34 (14): 3 580 - 3 590.
- [18] 陈立. EFOR 程序的仿真模拟功能应用研究 [J]. 中国给水排水, 1998, 14(5): 15 - 18.
- [19] 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.
- [20] 牛学义. $PO_4^{3-} - P$ 在线测定在生物、化学联合除磷控制中的应用 [J]. 给水排水, 2000, 25(9): 22 - 24.

Development and Prospects of Activated Sludge Dynamic Model

LU Pei-li, ZHANG Dai-jun, LIU Ying, WANG Fei

(College of Resource and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing, 400044, China)

Abstract: Activated sludge model is playing a more and more important role in the design, operation, and administration of the wastewater treatment plants. Since 1950s the study on model have achieved great advance. The development of activated sludge model is reviewed and discussed from the mechanism, function and description. The advantage and disadvantage of several important models, including Eckenfelder model, McKinney model, Lawrence-McCarty model, Andrews model, WRC model and IWA model, are compared. On the basis of the achievement of the modern environmental microbiology and the development of wastewater analysis technology, it can be concluded that the development of the activated sludge model may focus on more detailed characterization of wastewater and the establishment of the system of automatic control and design.

Key words: wastewater biological treatment; activated sludge process; model

(责任编辑 钟学恒)

(上接第 96 页)

Heat Resisting Steel Containing Nitrogen and Rare Farth Elements H_1

JIANG Han-xiang, SUN Shan-chang, YANG De-xing

(College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: In order to take the place of costly heat resisting steel 1Cr25Ni20, an advanced heat resisting steel containing nitrogen and rare earth elements 3Cr25Ni8REN have been designed and prepared. The properties of 1Cr25Ni20 and 3Cr25Ni8REN have been determined, It is proved that the heat resisting properties of 3Cr25Ni8REN are better than that of 1Cr25Ni20, the production cost of 3Cr25Ni8REN is two thirds of that of 1Cr25Ni20, the working life of chemical reactor made of 3Cr25Ni8REN is one point five time length of that made of 1Cr25Ni20 and the chemical reactor made of 3Cr25Ni8REN can work at 1200°C over a long period of time.

Key words: heat resisting steel containing nitrogen and rare earth elements; smelting technology; properties of material

(责任编辑 李胜春)