

“活性污泥法反应动力学” 教学内容的改革与实践

彭永臻 马 勇 王淑莹

(北京工业大学 环境与能源工程学院, 北京 100022)

摘 要 “活性污泥法反应动力学”是研究生的专业必修课,它在工程设计、污水厂运行和控制等方面都起着举足轻重的作用。然而“活性污泥法反应动力学”课程当前存在着教学内容多,但教材简单以及教学方式落后的特点,使得教学效果较差。本文作者基于多年的教学经验,探讨了这门课程教学改革的思路,包括教学内容、教学方法和教学实践等。

关键词 活性污泥法 反应动力学 教学内容与方法

中图分类号 G642.0

文献标识码 A

“活性污泥法反应动力学”是环境工程、市政工程专业研究生的一门主修课程,是在本科生课程内容基础上,对活性污泥法动力学知识和内容的进一步扩充和加强,是污水生物处理技术的灵魂内容。它在活性污泥法工艺的设计、运行、管理、控制和维护等方面都起到重要的作用,另外对研究生试验方案的确定以及试验结果的分析都具有重要的指导意义,因此工程技术人员和科研人员必须掌握这方面的知识^[1]。

但长期以来,在教学内容上侧重各种复杂活性污泥模型和动力学知识的讲解,由于活性污泥法数学模型较抽象,晦涩难懂,从而造成教学效果较差。另外实际教学中几乎对每种反应动力学模式都要进行讲解,造成课堂讲授内容较多,主次不分明,没有难点重点之分;在教学方法上主要以课堂讲解为主,这种教学方式存在明显不足,学生只能了解一些枯燥的数学公式,缺乏感性认识,让学生觉得枯燥、乏味;教师不注重讲解分析它们在实际中的应用,影响了学生的积极性,所起到的效果也不好。另外教材也相对简单、陈旧,不能反映该学科的前沿知识。

一、教材的改革

虽然活性污泥法反应动力学的教材很多,但当前并没有一本关于这方面的研究生教材。本科生教材有这方面的内容,但较简单,并不能满足教学的需求,因此首先需要对教材进行改革。

在教材改革过程中我们注意到了以下几点:(1)避免和本科生课程内容的重复,在本科生教材中出现的内容,在研究生教材只进行简单的介绍,而对未出现的内容进行重点介绍,避免浪费课时资源。(2)突出对活性污泥法新技术、新理论发展的介绍。(3)注重教授和试验、科研和实际应用的结合。虽然活性污泥法动力学是一门理论课,但它在工程设计,污水厂运行、管理和控制中具有重要作用,因此教材的改革注重,介绍活性污泥法动力学在工程中的应用。

二、教学内容的改革

(一) 深入了解莫诺模式和埃肯费尔德模式

* 收稿日期 2006-04-10
作者简介 彭永臻(1949-)男,黑龙江哈尔滨人,教授,主要从事污水生物处理及其过程控制研究。

莫诺模式是活性污泥法动力学最基础的模式,它就是活性污泥反应的一相说,所谓一相说是将底物的降解或微生物的增值用一个统一的数学模式来描述。埃肯费尔德模式,是活性污泥反应的二相说。二相说就是将底物的降解和生物的增值分为高底物浓度和低底物浓度二相而分别采用的不同的数学模式。需要理解一相说和二相说在本质上是相同的,所不同的仅是连续函数和非连续函数之别,二相说的两个非连续函数只是一相说中连续函数的两种特殊情况^[2]。

由于埃肯费尔德模式在实际工程设计和污水厂运行控制中被广泛应用,所以应实现埃肯费尔德模式的灵活变形,理解每个参数和公式的具体含义。可以应用埃肯费尔德模式进行活性污泥系统的设计,以及一系列参数的计算,包括:曝气时间、生物量的增值量、需氧量、污泥回流比。

深入地了解底物(有机物)降解和微生物(活性污泥)增值的规律,以便更合理地进行生物处理构筑物的设计和运行。主要包括:底物降解动力学,主要讨论底物降解与底物浓度、生物量等因素的关系;微生物增值动力学,主要研究微生物增值与底物浓度、生物量、增值常数等因素之间的关系;同时,讲解底物降解与生物量增长、底物降解与需氧、营养要求等关系。

(二) 灵活应用劳伦斯-麦卡蒂模式

劳伦斯-麦卡蒂模式在活性污泥法中占有重要的地位,在实际中被广泛应用,它突出强调了生物固体停留时间这一参数的重要性及其在设计、运行中的意义。它以微生物生理学,即有关微生物的增值和底物的利用为基础,采用一相说的概念,认为微生物的增值存在着连续性的关系。劳伦斯-麦卡蒂模式对微生物增殖和底物的利用仅用两个基本方程式来描述。第一个基本方程式叙述微生物的净增殖速率与底物利用率之间的关系(公式1)。第二个基本方程式是底物利用率与曝气池中微生物浓度、与微生物周围的底物浓度之间的关系^[3]。

$$\frac{dx}{dt} = Y \frac{ds}{dt} - K_d X_s \quad (\text{公式 1}) \quad \frac{ds}{dt} = \frac{v_{\max} \cdot X \cdot S}{K_s + S} \quad (\text{公式 2})$$

劳伦斯-麦卡蒂模式并不仅仅等同于两个方程式,最重要是从第一基本方程式中推导出的 3 个导出关系式,它们在活性污泥法的设计、运行中具有重要的意义,在教学中需要深入理解不同推导公式代表的实际含义。其中第 1 导出方程式是关于系统的出水水质;第 2 导出方程式是关于曝气池内污泥浓度;第 3 导出方程式是关于回流比 R 与 SRT 的关系式。

$$S_e = \frac{K_s(1 + K_d \theta_c)}{\theta_c(Yv_{\max} - K_d) - 1} \quad (\text{第 1 导出方程式})$$

$$X = \frac{\theta_c}{HRT} \frac{Y(S_0 - S_e)}{1 + K_d \theta_c} \quad (\text{第 2 导出方程式}) \quad \frac{1}{\theta_c} = \frac{Q}{V} (1 + R - R \frac{X_r}{X}) \quad (\text{第 3 导出方程式})$$

式中 S_0 、 S_e 代表反应器进水、出水的基质浓度(mg/L); θ_c 代表生物固体停留时间(d);HRT 代表水力停留时间(t);X 代表反应器内污泥浓度; X_r 代表回流污泥浓度; $v_{\max}$ 代表基质最大比去除速率(d^{-1}); K_s 代表饱和常数; K_d 代表衰减常数(d^{-1});Y 代表产率系数(mg 微生物/mg 基质);Q 代表进水量(m^3/d);V 代表反应器体积(m^3)。

由于劳伦斯-麦卡蒂模式突出强调了生物固体停留时间这一参数的重要性,因此需要分析 SRT 和出水中溶解性有机物浓度、出水中污泥浓度、氧吸收速率的关系,以及如何计算 SRT 或应用 SRT 控制系统的方法^[4]。

(三) 了解污水生物处理系统数学模型的演变和活性污泥法数学模型的知识

1. 污水生物处理系统数学模型的演变

早在 1982 年,国际水污染控制协会就成立了活性污泥法设计和操作数学模型攻关研究课题组,并于 1987 年推出活性污泥法 1 号模型,引起了强烈反响。随着对活性污泥法机理研究的深入、分析测试水平及计算机能力的提高,这些年来,该模型还在不断地发展。国际水质协会相继于 1995 年推出了活性污泥法 2 号模型,后来又发展为包含反硝化聚磷菌的 ASM2d,1998 年课题

组开发一个新的模型平台 - 活性污泥法 3 号模型 ASM3, 它是为下一代模型的应用建立的工具。活性污泥 3 号模型是基于对活性污泥工艺的深入理解, 其中值得注意的是, 胞内贮存物在生物的新陈代谢中起到极其重要的作用。与此同时, 描述生物膜结构的一维与多维生物膜模型以及厌氧消化模型 (ADM1) 也相继建立。生物膜数学模型和厌氧消化模型的建立对污水生物处理工艺来说具有很大的推动作用, 它们与活性污泥模型一起可以全方位地应用于工程实践与试验研究。

2. 数学模型在污水处理中起到重要的作用

数学模拟表面上是对污水处理过程进行数字化模拟, 实际上成熟的模拟技术对污水处理工艺方案比较、工艺流程设计、工艺运行优化、新工艺研发等而言均是一种高效的工具。虽然数学模拟结果不能百分之百地代表现实, 但它们的辅助作用在诸多方面可以起到事半功倍的效果。

由于各活性污泥模型开发人员使用统一的概念、术语和矩阵符号。数学模型有助于描述和理解活性污泥系统的反应过程, 对设计提供理论上的指导; 模型有助于模拟活性污泥系统的动态变化和对各项水质指标的影响, 可以指导实际的生产运行; 将模型和控制理论及方法结合起来, 就可按处理水质的要求, 达到优化运行的目的; 能帮助研究人员进行更有效地试验设计, 用于指导进一步的研究; 帮助污水处理厂操作管理人员更好地理解 and 利用获得的信息, 及时发现错误。

(四) 加强计算例题的讲解和分析

为了使反应动力学的讨论更为深入, 除对这些模式的理论基础、论点、模式的数学推导等作系统的介绍外, 还特别注意这些模式在活性污泥系统计算中的实用性, 并安排一定数量的计算例题, 就活性污泥净化反应过程的某些功能环节 (如活性污泥的增殖、吸附) 和不同类型曝气池系统进行合理计算, 作系统而深入的动力学分析。

(五) 注重课后复习与练习活动贯穿于平时的教学和自学活动中

注重课后复习与练习活动贯穿于平时教学和自学活动中。如课堂讲授前引导学生回忆上堂课的要点, 讲授完后, 作简短的总结; 课后作业以思考题为主。其宗旨是使学生能用所学的基础知识来分析和解决问题, 避免让学生死记硬背。所给的思考题大都结合工程实际, 要求学生能运用所学的知识来解决污水处理构筑物的设计, 分析污水厂运行过程中出现的问题。通过课后复习与练习, 可以强化已学知识, 使之巩固、加深、系统化。

三、教学方法的改革

传统的教学方法是老师在课堂上单纯通过板书进行讲解, 方法枯燥, 灌输内容较少、不形象、不生动, 且教学信息量少。由于这门课本来就具有深奥、抽象、复杂、难于理解的特点, 另外它又是活性污泥法生物处理工艺设计、运行和管理的基础, 因此教学方法的改革很重要。为了解决这个问题, 近年来开始改进为使用 PowerPoint 和板书相结合, 并逐步实现多媒体教学、仿真模拟教学、视频教学的有机结合, 另外还增加了活性污泥法动力学的实验教学和课程设计, 从而实现理论教学与实践应用的紧密结合, 教学手段形式多样。

(一) 应用多媒体教学

开展多媒体教学以来, 教学组潜心多媒体课件, 花费了大量精力和时间, 完成了“活性污泥法反应动力学”课程全部的 PowerPoint。另外摄制、下载了大量关于活性污泥法动力学的历史变革、实际应用等方面的图片资料; 对于难于理解的动力学公式, 制作了大量动画纳入 PowerPoint, 从而把问题简单化, 并变得易于理解。而对于重点内容, 通过多媒体详细的分析它的重要性, 公式的推导变化、应用背景、假设条件以及工程应用实例, 帮助学生理解重点和难点知识。在教学过程中, 将 PowerPoint 和板书有机结合, 改变了原有教学方式的不生动、不直观、信息量太少等缺点, 通过多媒体能使繁杂的问题简单化, 枯燥的问题趣味化, 静止的问题动态化, 使教学内容生动、形象地展现在学生面前, 把抽象的内容直观化, 提高了学生的感性认识, 极大地加

强了学生的学习兴趣和主动性,加深了对理论的理解,加强了学生的主动参与意识。

(二) 理论教学和实践更好的紧密结合

“活性污泥法反应动力学”是具有工程特性的专业课,它的理论性极强,因此为了获得较好的教学效果,需以课程基本理论为指导,以工程应用为背景,强调理论与实践相结合,着重培养学生独立分析问题和解决问题的能力。配合“活性污泥法反应动力学”的理论课教材,开展部分实验,这样使学生能够形象逼真地掌握课堂所学的内容,学生在学习了理论知识之后,能够与实践紧密结合。

(三) 开展视频教学和仿真模拟教学

为弥补学生缺乏感性认识,缺乏理论与实际的有机结合,无法学以致用等方面的不足,目前正在进行活性污泥法动力学模型视频教学系统的研制。主要包括以下内容:(1)活性污泥法的基本动力学;(2)国际水质协会活性污泥法数学模型;(3)应用活性污泥法动力学知识进行城市污水处理厂的设计、运行和管理。

另外由于活性污泥法动力学模型涉及许多动力学参数和化学计量学参数,而这些参数和系统运行条件以及温度等因素具有直接的关系,如何确定他们的变化规律应用试验是无法全部完成的,另外理论上也无法对此透彻分析。而开展仿真模拟教学可以根据需要确定修改不同的参数,来观察它对系统的影响,另外可直观的理解它在实际中的应用情况。我们应用 Matlab 以及 Simulink 仿真库建立了活性污泥动力学控件和基于 ASM1、ASM2 和 ASM3 的仿真软件。

(四) 多种教学方式有机结合

传统教学方式为“传授式教学和示例式教学”。新的教学方式为“建构式教学”,学生从被动接纳转为主动吸收。我们灵活运用这三种方法。这三种方法互相补充,对不同的对象,在不同的阶段,采用不同的方法。通过教师的传授和示范,学生建构自己的知识体系。教师利用自己在长期教学和科研实践中所积累起来的对数学思想和研究方法的体会,通过专题讨论、小论文、设计性实验等教学方式的不断改进与创新,培养学生对这门课的理解和掌握能力。

四、考核方法的改革

在对教学内容、教学方法进行改革后,必须对考核方法也进行相应的改革。考核方式必须紧密结合教学方法的改革。合理的方式是采用理论考试、实际应用和平时成绩相结合的方法进行考核。同时,体现就业为导向降低理论考核的权重,将课堂学习、实际应用及报告撰写情况等因素综合考虑,共同纳入总分中,鼓励学生在平时积极表现。考核中所反馈的信息,既是对学生学习情况的考查,也是我们教师改进教学的重要依据。

参考文献:

- [1] 张自杰,周帆.活性污泥生物学与反应动力学[M].北京:中国环境科学出版社,1989.300.
- [2] 顾夏声.废水生物处理数学模式[M].北京:清华大学出版社,1993.55.
- [3] 彭永臻.对活性污泥法动力学公式及几个参数的探讨[J].中国给水排水,1992,8(4):24-26.
- [4] 张自杰,彭永臻.对现行污泥龄定义的质疑及对它的修正建议[J].环境科学,1984,5(1):69-73.