

污水处理厂模拟软件 BioWIN 的应用

沈童刚¹ 邱 勇¹ 应启锋² 葛勇涛² 施汉昌¹ 曾思育¹ 何 苗¹ 胡志荣³

(1 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2 北京城市排水集团有限责任公司, 北京 100044;

3 EnviroSim Associates Ltd, 加拿大)

摘要 介绍了污水处理厂全流程模拟软件 BioWIN 的使用方法, 并对北京市某城市污水处理厂的运行进行了数学模拟, 结果显示, BioWIN 能够正确反映实际污水处理工艺的运行。在此基础上, 对软件在污水处理辅助设计、工艺优化和科学研究方面的作用进行了探讨。

关键词 BioWIN 污水处理工艺 动态模拟

0 前言

由于污水处理厂进水特性的地域差别大, 进水负荷的动态变化快, 运行状态与设计参数相差较远等原因, 不少城市污水处理厂存在运行不良、难以达标的困难。这就要求对目前的污水处理工艺进行改造和优化, 通过深入研究进水条件、工艺控制参数和系统运行效果三者之间的关系, 调整工艺控制参数, 优化工艺运行, 从而改善出水水质。此外, 城市污水处理是能耗较高的产业之一, 污水处理工艺的优化也可以实现节能降耗的效果。

污水处理工艺涉及的过程复杂, 工艺调整一般依靠工程经验, 调整周期长, 成本高, 存在一定风险。由于数值模拟方法可以快速预测不同处理工艺条件下的出水水质, 因此在污水处理厂工艺的设计和优化运行方面得到了重视和发展。从 20 世纪 70 年代起, 研究人员和机构陆续开发了多种活性污泥系统的数学模型^[1~3], 其中以国际水协会提出的活性污泥模型(ASM)和厌氧硝化模型(ADM)最具代表性。在此基础上, 研究人员开发了计算机应用软件

模拟各种污水处理工艺^[4~6]。商业水处理软件的推出和升级大大促进了数学模拟在污水处理方面的发展, 常用的有 GPS-X、WEST、BioWIN 等。其中, BioWIN 是典型的污水处理厂全流程模拟软件, 已在国外水处理工程中得到广泛应用。

本文将介绍 BioWIN 软件的使用方法, 利用 BioWIN 软件对北京市某城市污水处理厂的运行进行了数值模拟, 并对软件的应用和推广进行探讨。

1 BioWIN 软件基本概况

BioWIN 模拟软件于 20 世纪 90 年代由加拿大 Envirosim 联合公司研制。经过十几年的不断完善开发, 在北美和澳大利亚等地得到了广泛的应用, 成为当地污水处理运行和设计的标准工程工具^[7]。最新的 BioWIN 版本软件不仅能可靠模拟污水处理厂生物脱氮除磷活性污泥工艺和厌氧硝化系统, 而且还可以模拟固定生物膜反应器和生物移动床反应器。目前 BioWIN 在国内的应用还很少。

BioWIN 模拟软件的核心是 ASDM 综合模型, 描述了污水处理过程中的 50 种组分(普通异养菌、氨氧化菌、亚硝酸盐氧化菌等)以及作用于这些组分

“十一五”科技支撑计划项目(2006BAC19B06)。

4 Liu K, Janning K, Zhang H P, et al. Final Report for the world bank (Project No 53404), Hubei Han River Environmental Project Review of Water Quality Protection & Management Strategies, DHI Water and Environment, 2006

5 Erichsen A C, Rasch P S, Zhang H P, et al. China: Lake Taihu Water Quality Improvement Project, 2D Taihu Lake Networks Water Quality Modelling Report, DHI Water and Environment, 2003

6 Erichsen A C, Rasch P S. Two and Three dimensional Model System Predicting the Water Quality of Tomorrow, DHI Water and Environment, 2002

✉ 通讯处: 200020 上海市永嘉路 18 号 二楼

电话: 13002177820

E-mail: liukun@chengtou.com

收稿日期: 2009-02-27

的 80 个物理、化学和生物反应过程。该模型整合了国际水协会的三套活性污泥生物反应模型(ASM 1~ 3),并集成了厌氧硝化模型(ADM)、pH 平衡、气体转移和化学沉淀等模型。由于 ASDM 模型采用单一矩阵的整体结构^[8],BioWIN 能模拟整座污水处理厂的全部流程,能追踪任意模型组分或状态变量在不同单元工艺中的变化。同时,BioWIN 通过总结最新研究成果和实际污水处理厂测试,提供了比较符合实际的模型参数缺省值。

BioWIN 可运行于多种操作系统,软件界面十分友好。由于软件在 ASDM 模型的基础上建立了各种进水、反应器、沉淀池、污泥处理等共计 30 个工艺单元模块,所以用户可以通过简单地组合这些模块来快速建立目标污水处理厂的工艺概化模型。

2 BioWIN 软件应用案例

2.1 研究对象

北京市 A 污水处理厂采用 A²/O(厌氧—缺氧—好氧)生物处理工艺,设计处理水量为 60 万 m³/d,工艺流程如图 1 所示。生物处理单元平行分为 16 组运行,每组含厌氧区、缺氧区、好氧区和 1 个二沉池,其中好氧区采用了“溶解氧—阀门开度”的 PID 闭环反馈系统,分四段控制反应池内溶解氧浓度。各区容积和水力停留时间如表 1 所示。由于污水处理工艺的进出水都是完全混合水流,因此模拟 1 组处理系统可以代表全厂的运行状况。

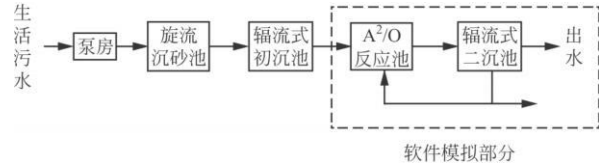


图 1 A 厂工艺流程

表 1 生物反应单元各阶段 HRT 和容积 V(单组)

项目	厌氧池	缺氧池	曝气池	二沉池
HRT/h	1	3	6.6	6
V/m ³	1 573	4 719	10 381	9 437

2.2 工艺概化模型

根据污水处理厂的 actual 工艺,建立如图 2 所示的工艺概化模型。模型中使用了多个 CSTR 反应器的串联形式来表征实际反应器内的推流特性。在此

基础上,选择 ASDM 模型、pH 平衡模型和气体传输模型作为生物反应单元的数学模型,选用 Vesilind 修正模型作为二沉池的数学模型。

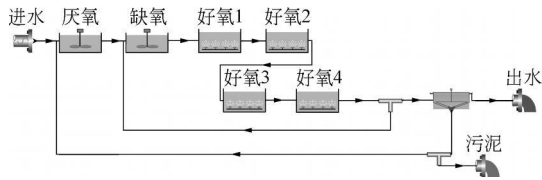


图 2 A 污水处理厂工艺概化模型

2.3 数据调研处理

2.3.1 基础数据

构筑物尺寸;厌氧池、缺氧池内推进器功率;曝气池内曝气头数量、面积、高度、曝气能力等。

2.3.2 工艺运行条件

根据 A 污水处理厂实际运行状况,设定内回流量 Q_r 为 75 000 m³/d,外回流量 Q_R 定为 37 500 m³/d,排泥量 Q_w 为 400 m³/d,均不随时间变化;好氧区 4 段中前两段固定曝气量分别为 3 000 m³/h 和 2 800 m³/h,后两段将溶解氧设定为 2.5 mg/L 和 2 mg/L 进行反馈控制,水温为 20 ℃。

2.3.3 进水水质组分

根据 A 污水处理厂的常规监测数据,进水中氨氮占总凯氏氮的比例为 0.81,溶解性磷酸盐占总磷的比例为 0.75。根据相关研究成果^[9],进水 COD 组分 F_{us} 确定为 0.09。其他组分参数均采用软件缺省值,如表 2 所示。

由于城市污水处理厂进水特性的地域差别很大,软件中进水组分的缺省值往往难以精确反映进水的实际情况,因此在进行污水处理工艺模拟时,应最大程度地通过试验分析确定进水组分的实际值,保证模拟的效果。

2.4 模型校准

为了提高模拟结果的可信度,必须对所使用的模型参数进行校准。模型校准通常有两种途径:一是基于灵敏度分析的系统工程方法;二是基于经验的工艺工程法。由于活性污泥法生物反应系统中大部分的动力学参数和化学计量参数较为稳定,并且 BioWIN 使用的 ASDM 模型的参数缺省值来源于最新的科学研究结果和大量实际污水处理厂工艺系统的校正参数,因此在实际模拟过程中需要校正的

表 2 进 水 组 分 调 整 情 况

符号	组分意义	单位	校准值	说明
F_{bs}	快速生物降解有机物	g COD/ g of total COD	0. 27	缺省值
F_{ac}	醋酸	g COD/ g of 快速生物降解 COD	0. 15	缺省值
F_{xsp}	非胶体慢速生物降解有机物	g COD/ g of 慢速可降解 COD	0. 75	缺省值
F_{us}	可溶性难生物降解有机物	g COD/ g of total COD	0. 09	文献值
F_{up}	颗粒性难生物降解有机物	g COD/ g of total COD	0. 08	缺省值
F_{na}	氨氮	g 氨氮/ g TKN	0. 81	测量值
F_{nox}	颗粒性有机氮	g N/ g 有机氮	0. 25	缺省值
F_{nus}	可溶解难生物降解凯式氮	g N/ g TKN	0. 02	缺省值
F_{upN}	颗粒难生物降解 COD 中 N 含量	g N/ g COD	0. 035	缺省值
F_{p4}	磷酸盐	g 磷酸盐/ g TP	0. 75	测量值
F_{upP}	颗粒难生物降解 COD 中 P 含量	g P/ g COD	0. 011	缺省值

很少,可以重点关注变化较明显的异养菌和自养菌最大比增长速率。通过现场的活性污泥呼吸速率试验^[10],修改异养菌产率系数和最大比增长速率为实测值 0. 64 和 1. 5 d⁻¹(缺省值为 0. 67 和 3. 2)。自养菌的最大比增长速率从 0. 9 调整为 0. 46。其他动力学参数及化学计量学参数均采用软件缺省值。

2. 5 模型验证

通过 14 d 的现场试验,连续监测获得了生化单元进出水水质的每小时变化数据,并通过中控室获取了进水水量的实时数据。为了排除离散数据的干扰,运用时间序列季节变动分析法^[11]对数据进行了处理,得到了 A 厂生化单元进水的日内时变化情况,见表 3。

为了验证工艺概化模型的有效性,输入 A 污水处理厂生物单元的进水水量和水质数据,将动态模拟得到的出水水质情况与实际监测值进行比较。出水水质日内时变化规律以及模拟得到的出水水质情况如图 3、图 4 所示。从图中可以看出,生化单元出水的 COD、NH₃—N、正磷的模拟浓度值与实测浓度值基本相符,模型能够反映实际污水处理工艺的运行。

3 BioWIN 的应用讨论

作为优秀的污水处理行业商业软件,Bio WIN 不仅能够准确模拟污水处理厂工艺运行,还可凭借其先进的模型和丰富的模块应用于辅助设计、工艺优化和科学研究。

表 3 生化单元进水日变化

时间	流量 / m ³ / h	COD _{Cr} / mg/ L	氨氮 / mg/ L	正磷 / mg/ L
00: 00	1 850	305	45. 2	4. 4
01: 00	1 903	306	43. 7	4. 0
02: 00	1 889	305	44. 2	4. 3
03: 00	1 867	309	43. 8	4. 3
04: 00	1 772	299	44. 1	4. 2
05: 00	1 450	298	42. 7	4. 3
06: 00	1 080	304	42. 2	4. 2
07: 00	1 020	298	41. 2	4. 6
08: 00	1 046	309	40. 4	4. 4
09: 00	1 262	295	40. 3	4. 2
10: 00	1 331	296	40. 4	4. 2
11: 00	1 760	280	39. 3	4. 0
12: 00	1 749	288	40. 9	4. 0
13: 00	1 817	294	43. 3	3. 8
14: 00	1 855	313	44. 9	4. 2
15: 00	1 845	320	46. 2	4. 2
16: 00	1 859	319	49. 3	4. 4
17: 00	1 864	299	47. 3	4. 3
18: 00	1 841	300	46. 5	4. 2
19: 00	1 733	304	47. 3	4. 3
20: 00	1 693	307	46. 5	4. 3
21: 00	1 645	313	46. 2	4. 2
22: 00	1 829	312	46. 2	4. 1
23: 00	1 842	311	45. 2	4. 2

3. 1 辅助设计

传统的设计认为有机底物降解遵循一级反应,但大多数污水中的有机物的降解实际上处在零级到

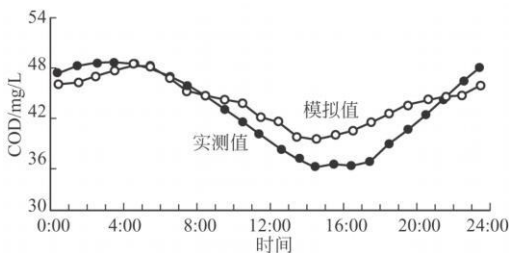


图3 COD模拟值与实测值的对比

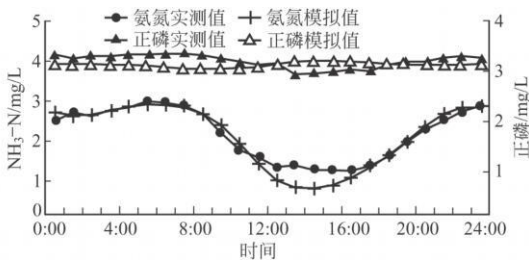


图4 氨氮、正磷模拟值与实测值的对比

一级反应之间。采用 BioWIN 进行辅助设计, 可按照污水处理中的真实反应由微分计算有机物的降解速率, 从而降低传统设计的偏差。

此外, BioWIN 丰富的处理单元模块可以良好地模拟常见的活性污泥处理系统和污泥处置工艺, 其全面的数据输出能力不仅能够反映出水水质情况, 而且能表征运行能耗状况, 因此可以实现对不同设计工艺的全面评估和比较。

3.2 工艺优化

污水处理厂进水的水量水质和生物反应单元中污泥的活性时常变化, 这就要求在运行中适时调整回流、曝气排泥等工艺参数。BioWIN 在对准确模拟污水处理厂工艺运行的前提下, 可以对不同的运行参数进行模拟, 并对化学除磷金属盐的不同投加点和量、污泥的处置和回流、关闭部分处理单元等情况产生的影响进行评价, 快捷地找出运行中存在的 key 问题, 针对易于调整的条件进行模拟分析, 从而省时省力地确定工艺优化方案。

3.3 科学研究

污水处理工艺中遇到的问题一般和进水特性、活性污泥中的微生物及其产物相关。传统的研究在解决这些微观问题时, 往往面临影响因素繁多、数据难以获取等困难。采用 BioWIN 进行数值模拟, 则可以在很短的时间内从众多影响因子中辨认出关键因子, 从而缩小研究范围。另一方

面, BioWIN 可以提供化学除磷单元鸟粪石的产生量、厌氧硝化中生物产气量等许多试验研究难以获取的数据描述, 有助于科学研究更加细致、全面和深入。

4 结语

本文介绍了 BioWIN 软件的使用方法和实例。模拟结果表明, BioWIN 可以成功模拟城市污水处理厂的 A²/O 工艺脱氮除磷的效果。在准确模拟的基础上, 对于 BioWIN 的在辅助设计、工艺优化和科学研究方面的应用进行了展望。

参考文献

- 1 Barker P S, Dold P L. General model for biological nutrient removal activated sludge systems: model presentation. *Water Environ Res*, 1997, 69(5): 969~ 984
- 2 Brdjanovic D, van Loosdrecht M C M, Versteeg P, et al. Modeling COD, N and P removal in a full scale wwtp Haarlem Waarderpolder. *Water Research*, 2000, 34(3): 846~ 858
- 3 Henze M, Gujer W, Mino T, et al. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2D and ASM3. London: IWA Publishing, 2000
- 4 Meijer S C F, van Loosdrecht M C M, Heijnen J J. Modelling the start-up of a full-scale biological phosphorous and nitrogen removing WWTP. *Water Research*, 2002, 36: 4667~ 4682
- 5 van Dekerkhove A, Moerman W, Stijn W H, et al. Full scale modeling of a food industry wastewater treatment plant in view of process upgrade. *Chemical Engineering Journal*, 2007, 135(3): 185~ 194
- 6 Wang C, Zeng Y Z, Lou J, et al. Dynamic simulation of a WWTP operated at low dissolved oxygen condition by integrating activated sludge model and a floc model. *Biochemical Engineering*, 2007, 33: 217~ 227
- 7 Dold P L, Jones R M, Takacs I. Practical guidance for WWTP model calibration and associated data gathering requirements. *Proceedings of the Water Environment Federation 76th Annual Technical Exhibition & Conference*. California: Water Environment Federation, 2003
- 8 胡志荣, 周军, 甘一萍, 等. 基于 BioWIN 的污水处理工艺数学模拟与工程应用. *中国给水排水*, 2008, 02, 24(4): 19~ 23
- 9 徐丽婕. 基于 ASM2D 的污水处理厂运行决策支持系统的研究: [学位论文]. 北京: 清华大学环境科学与工程系, 2006
- 10 邱勇. 快速生物活性测定方法的仪器化与控制策略研究: [学位论文]. 北京: 清华大学环境科学与工程系, 2004
- 11 朱晓青, 吴晓葵. 统计学原理. 北京: 北京出版社, 1994

✉ E-mail: hanchang@mail.tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2008-09-10