一种新的污水处理仿真与优化控制软件ProSee及功能介绍

范　吉，谢　磊，范岳峰，姜　恺，胡晓东，秦惠芬

（上海昊沧系统控制技术有限责任公司，上海 200030）

摘　要： 本文介绍了污水处理厂仿真与优化控制软件ProSee，并以某污水处理厂为例，详细介绍了ProSee各个功能模块，如工艺仿真、工艺优化与控制、能耗与药耗仿真和虚拟仪表等的使用。与传统商业化的仿真软件相比，ProSee不仅能够仿真模拟及优化污水厂的实际运行情况，而且还可以将其接入到污水厂的数据采集与监控系统SCADA中，实现基于模型的预测控制技术，提高污水厂的自动化控制水平。

关键词： 污水处理　ProSee软件　仿真　优化　在线控制　虚拟仪表

1　前言

活性污泥法在废水生物处理中应用广泛，其工艺流程的选择设计、处理系统的优化运行以及自动控制一直深受重视。由于污水处理厂进水负荷是动态变化的，而且运行状态还受到季节性温度变化的影响，导致运行状态与设计参数相差较大等原因，因此不少城市污水处理厂存在运行不良、出水难以稳定达标等问题。解决这些问题的途径之一是改造处理工艺。但是，工艺的改造往往需要大量的资金，对大多数污水处理厂而言是不现实的。比较现实的另一途径是在现有工艺的基础上，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，进而调整工艺控制参数，优化工艺运行，以应对进水负荷的动态波动以及温度的季节性变化。在自动控制方面，污水处理厂的现有数据采集与监控系统（SCADA）往往仅起到数据采集与显示的作用，绝大多数污水处理厂无法及时有效地通过调整工艺运行参数来应对各种冲击。因而，为改善出水水质，提高出水达标率，就需要更高水平的自动控制技术。此外，城市污水处理是能耗较高的产业之一，如何通过工艺参数的优化来降低污水处理的能耗、药耗，也是污水处理厂运营管理者十分关注的问题。

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，因此在污水处理厂的设计和优化运行方面得到了重视和发展。因此，国际水协会IWA推出了一系列活性污泥模型（ASM1、ASM2、ASM2d、ASM3）[1]，为污水处理新技术开发、工艺设计研究提供了通用平台。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。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。

然而，这些商业化的仿真软件要求用户必须具有专业的建模技术背景知识，这显然不符合我国现阶段污水处理厂的人才现状，因而发展较为缓慢。另一方面，这些软件偏重于工艺仿真与优化，缺乏对工艺的控制手段，无法与污水厂的SCADA系统对接，即经仿真优化后的工艺运行参数仍需要手动

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

输入到 SCADA 中。因此,上海昊沧针对污水厂的实际情况,研发一套适合中国国情的污水厂仿真与优化控制软件 ProSee。

2 ProSee 软件基本概况

ProSee 仿真与优化控制软件由上海昊沧系统控制技术有限责任公司历经三年的潜心研发而成,并于 2012 年 3 月正式推出。ProSee 软件不仅能可靠模拟污水处理厂各种生物处理工艺,如 AAO 工艺、CASS 工艺、氧化沟工艺、AO 工艺等,而且还可以将进水端在线仪表接入到 ProSee 中作为输入,预测出水和任意工艺段的工艺运行参数的变化;可以根据仿真计算出的水质参数,通过 OPC 方式提供任意位置虚拟仪表功能,直接在用户的 SCADA 画面上显示;直观地查看各种水质指标在生化池内的沿程分布和生化池内任意位置上污染物的时间分布。

ProSee 软件的核心是 ASMs 模型、二沉池沉降模型、设备能耗模型及药耗模型等,其中 ASMs 模型描述了污水处理过程中生化池内各组分以及作用于这些组分的几十个物理、化学和生物反应过程;二沉池模型描述了活性污泥在二沉池内的沉降过程;设备能耗模型描述了污水厂内各个耗电设备的能耗水平,为工艺运行人员提供节能潜力评估依据;药耗模型描述了污水处理过程中投药量。

ProSee 可运行于多种操作系统,专为污水厂定制,软件界面十分友好,方便初级运行人员快速掌握。

3 ProSee 软件的特点

ProSee 软件区别于市场上同类软件的特点主要有以下几点:

(1)在污水处理过程控制中,国际上首次引入在线生化预测模型,可实时预测各生化单元及出水的各项工艺指标,实现基于预测的控制方式,即模型预测控制(MPC)[2-4];

(2)首次将污水处理工艺仿真软件与在线控制系统相结合并形成软件产品,可广泛用于污水处理的工艺过程优化,在国际上处于领先水平;

(3)定制化的软件界面,完全面向用户,使用者不需具备特殊的专业背景技能,整个仿真平台的搭建由供应商完成;

(4)强大的设备能耗仿真和药耗仿真功能帮助使用者评估工艺过程中耗电设备的能耗水平,为设备能耗节省提供指导。

4 ProSee 系统的应用研究

以某污水处理厂二期为例,详细介绍 ProSee 软件各功能模块。

4.1 研究对象

该污水处理厂二期采用 A/A/O(厌氧/缺氧/好氧)生物处理工艺,设计处理水量 20 万吨/天,工艺流程如图 1 所示。生物处理单元分为 4 组运行,每组含厌氧区、缺氧区和好氧区,其中好氧区采用了精确曝气流量控制系统分两段控制反应池内的溶解氧浓度。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态。

根据该污水处理厂的实际运行状况和常规监测数据,每隔一定时间设定一次进水量、进水水质、内回流量、外回流量、排泥量、水温以及厌、缺、好氧区和二沉池的 HRT;好氧区采用精确曝气模式,前

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

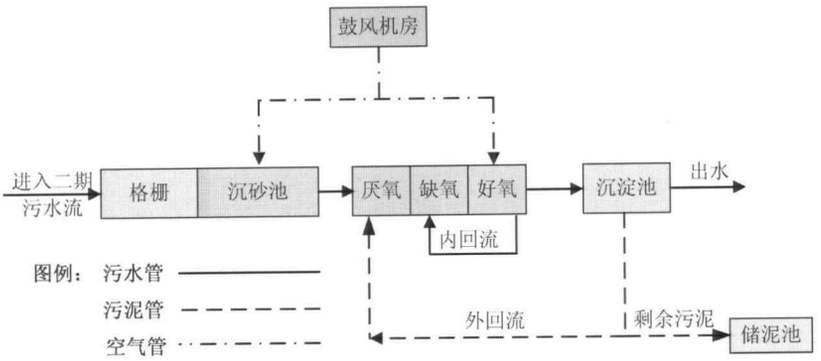

图1　某污水处理厂(二期)工艺流程图

端溶解氧控制区的设定值为2.0 mg/L,后端溶解氧控制区的设定值为1.0 mg/L。

4.2　模型校准及验证

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。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,因此,本研究所使用的方法为在基于灵敏度分析的基础上获得较灵敏的参数,再采用大量的实际监测数据对这些参数进行校准及验证[5-7]。其它动力学及化学计量学参数均采用默认值。

4.3　工艺仿真

在污水厂的日常运行中,水质水量的变化是不可避免的,预测各种运行条件的变化对出水水质的影响在污水处理厂运行管理中起着至关重要的作用。ProSee软件可以重现不同的进水、运行条件下,污水厂的运行效果(包括出水水质和评价指标),从而预测进水波动和冲击给运行效果可能带来的影响。

在完成模型校准后即可用ProSee软件来仿真再现及预测污水厂的实际运行状况。如下图所示,使用者可以方便设置进水参数和工艺运行参数来预测出水水质。

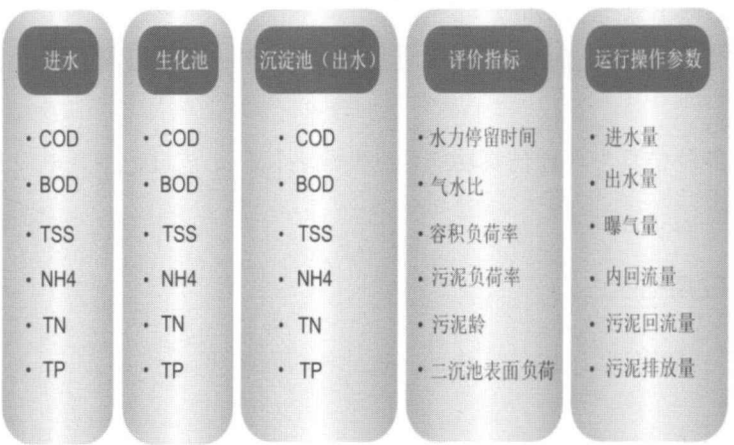

图2　ProSee进水及运行参数设置

4.4　工艺优化与控制

污水处理厂进水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;另外,污水处理厂想要获得出水水质达标和节能降耗的双赢,就必须根据多变的进水条件等外界环境因素实时调整工艺运行参数。ProSee在准确模拟污水处理厂工艺运行的

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

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关键问题，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，使污水厂能从容应对各种外界环境因素变化带来的冲击，保持良好的出水效果，如下图所示。

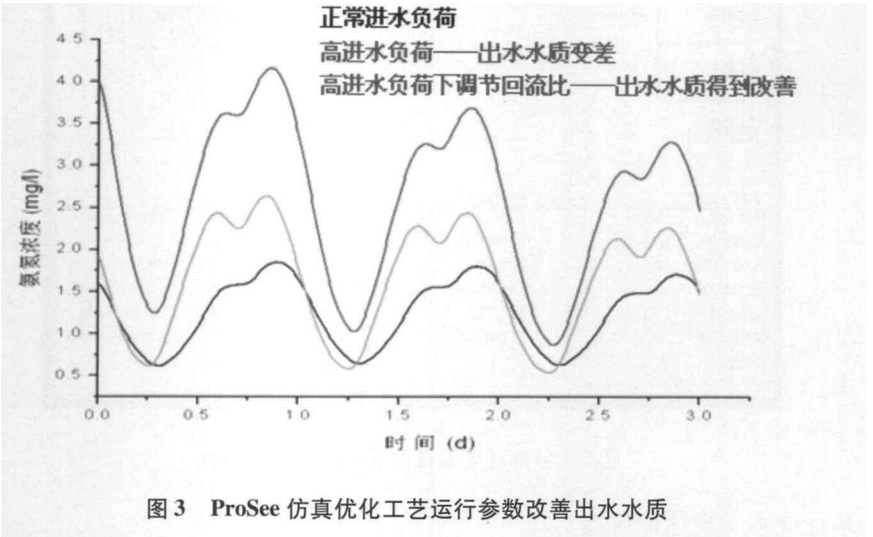

图 3　ProSee 仿真优化工艺运行参数改善出水水质

在得到优化方案后，传统商业软件的做法是通过手动输入优化的运行参数到 SCADA 系统中实现调节。由于不能实现在线仿真优化，这就使控制效果大打折扣。ProSee 可以接入进水端在线仪表，根据进水水量水质，预测出水和任意工艺段的运行参数的变化，并将优化后的运行参数实时自动输入到 SCADA 系统中，如下图所示，从而实现实时在线控制，提高污水厂的自控水平。

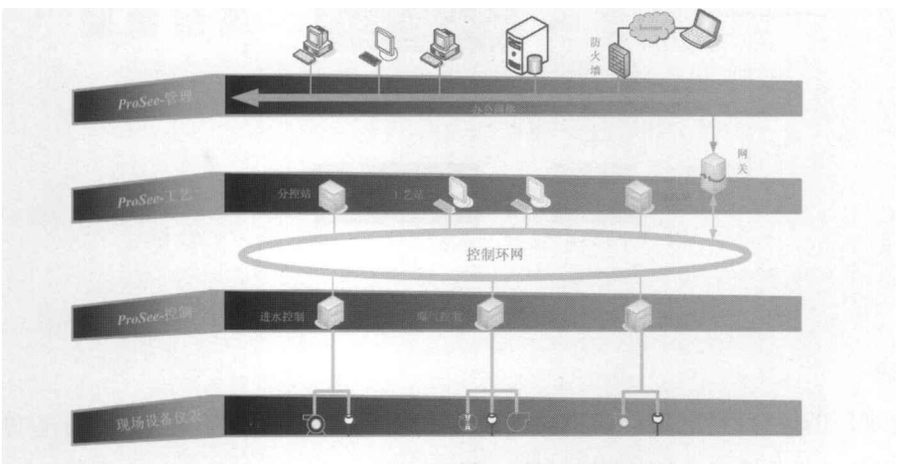

图 4　ProSee 接入污水厂 SCADA 系统

4.5　能耗及成本模拟

能耗和运行成本一直是污水处理厂管理者关注的一个话题，特别是如何实现出水达标和节能降耗的平衡，一直困扰着污水处理行业。ProSee 软件在工艺仿真的基础上实现了以能耗、药耗仿真为基础的成本模拟功能，涵盖了污水提升、曝气、污泥浓缩和脱水等所有的能耗、物耗环节，提供了各项耗能设备的能耗统计分析情况，并最终予以汇总，实现全厂的能耗仿真。仿真结果以数据、曲线、图表等形式展现出来，便于用户从时间和空间上掌握全厂的能耗情况，如下图所示。

ProSee 的能耗仿真功能可以比较不同进水、运行条件下的能耗水平，有助于选择最优的运行方

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

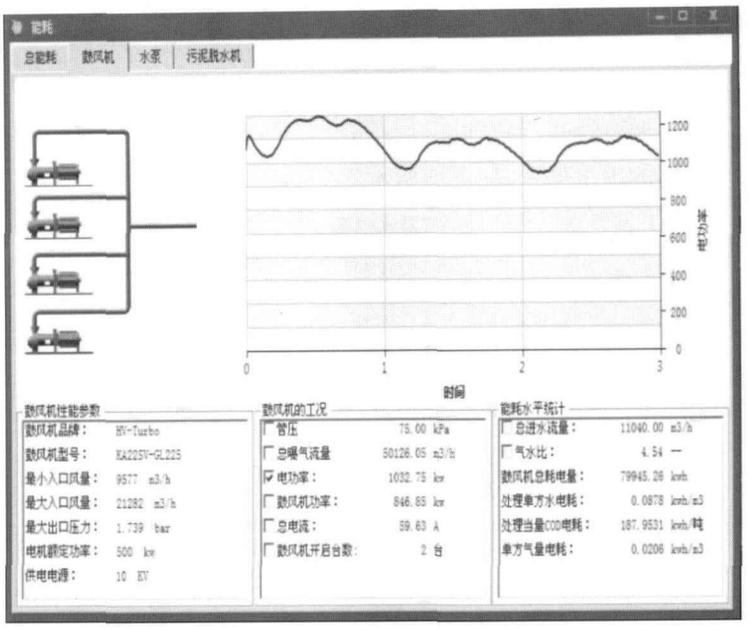

图5　各种耗电设备的能耗统计分析情况

案，以最小的运行成本实现达标排放。

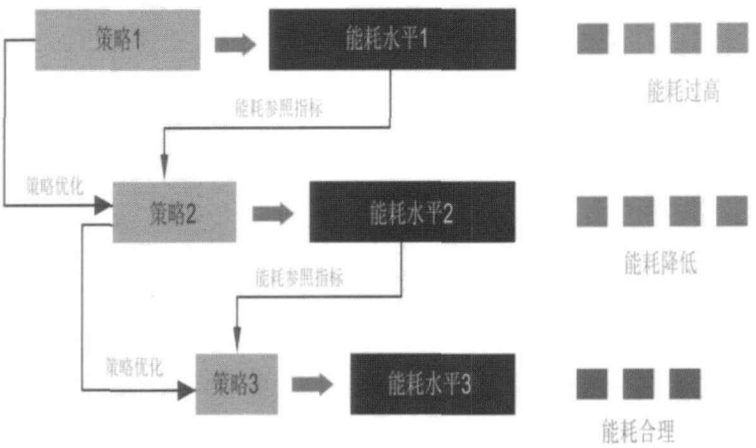

图6　能耗方案的选择策略

4.6　虚拟仪表

在污水处理厂的运行管理中，及时了解整个工艺流程上水质指标的变化有助于诊断运行出现问题的原因，可以进一步提升污水厂的运行水平。但实现这一点往往需要安装一定数量的仪表，从采购到日常维护都是不菲的开支。

ProSee软件为用户提供了额外的“虚拟仪表”功能，借助软件提供的视图，在仿真过程中显示出工艺流程各个指定位置上的水质指标，以仿真结果替代了真实仪表的监测结果，起到仪表测点的作用，弥补了实际仪表数量上的不足，并可以帮助用户非常直观地认识到各种输入因素和控制运行参数在全局层面对运行结果的影响。

5　结语

污水厂工艺仿真与优化控制软件ProSee可以较全面地分析污水水质分析、仿真模拟污水厂处理

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

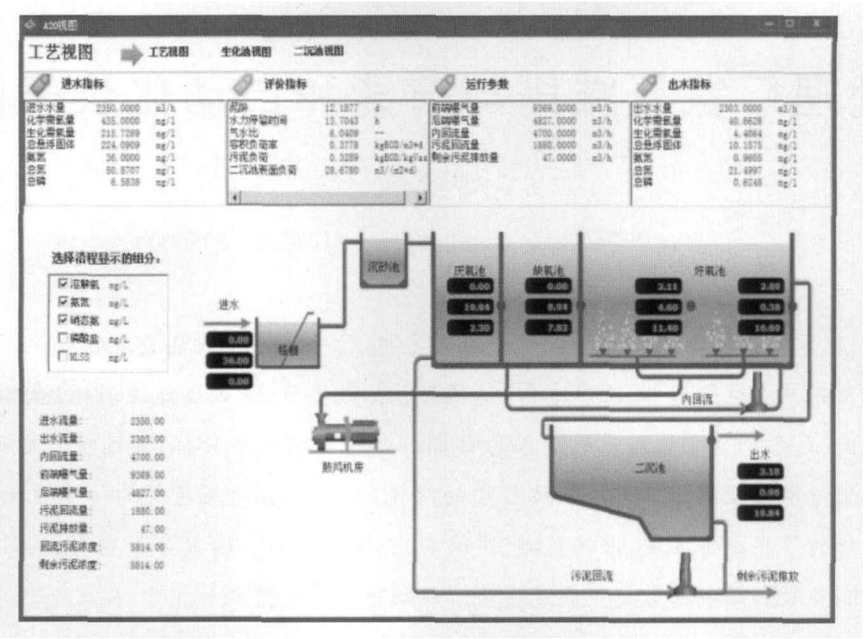

图 7　ProSee 虚拟仪表功能:沿程显示仿真结果的测点

各过程并优化工艺的运行参数,达到以最小的能耗和药耗获得较佳的出水水质;同时,将软件接入 SCADA 系统,实现基于模型的预测控制,提高污水厂的自动化控制水平。

参考文献:

[1] Heme M, Gujer W, Mino T, et al. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2D and ASM3. London: IWA Publishing, 2000.

[2] Kim, H., McAvoy, T., Anderson, J. and Hao, O. 2000 Control of an alternating aerobic – anoxic activated sludge system – part 2: optimization using a linearized model. Control Eng. Pract. 8, 279 – 289.

[3] Chachuat, B., Roche, N. and Latifi M. 2005 Optimal aeration control of industrial alternating activated sludge plants. Biochem. Eng. J. 23, 277 – 289.

[4] Balku, S., & Berber, R. 2006 Dynamics of an activated sludge process with nitrification and denitrification: start – up simulation and optimization using evolutionary algorithm. Comput. Chem. Eng. 30, 490 – 499.

[5] carrette R, Bixio D, Thoeye C, et al. Full – scale Application of the IAWQ ASM NO. 2d Model. Wat Sci Tech, 2001, 44(2 – 3): 17 – 23.

[6] Cinar O, Daigger GT, Graef SP. Evaluation of IAWQ Activated Sludge Model No. 2d using steady – state data from four full – scale wastewater treatment plants. Wat Env Res, 1998, 70: 1216 – 1224.

[7] Henze M, Harremoes P, Jansen JLC, et al. Wastewater treatment – Biological and chemical process. Second edition. Berlin Heidelberg: Spring Verlag, 1997, pp11 – 37.

E – mail: chenchanglong@ haocang. com

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net