

基于 Web 的城市污水处理厂决策支持平台研究

王 征,汪诚文,施汉昌

(清华大学环境模拟与污染控制国家重点联合实验室,北京 100084)

摘要:本研究提出了基于 Web 的城市污水处理厂决策支持平台的概念,开发了基于 Web 的污水处理决策支持系统(模拟系统与专家系统),并实现了决策支持中心的思想。文中介绍了基于 Web 的决策支持系统和决策支持中心的设计思想,以及利用 NET 技术,以单机版决策支持系统为基础进行软件开发的方法。同时本文讨论了创建决策支持平台的意义,以及在此平台上进行深入科研工作的前景。

关键词:决策支持系统(DSS);Web;城市污水处理厂;模拟系统;专家系统;决策支持中心

中图分类号:X32 029 C934 **文献标识码:**A **文章编号:**1000 - 2324(2005)01 - 0137 - 06

STUDY OF DECISION SUPPORT PLATFORM BASED ON WEB FOR MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS

WANG Zheng, WANG Cheng - wen, SHI Han - chang

(Environment Simulation & Pollution Control State Key Joint Laboratory, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The idea of the Decision Support Platform based on for Municipal Wastewater Treatment Plant is presented, which consists of a Web - based Decision Support System (Simulation System & Expert System) and the idea of Decision Support Center. The design and development of the system are described, as well as the transplantation issues from Single - machine based Decision Support Systems to a Web - based one. Furthermore, the value and outlook of the Decision Support Platform in researching area is presented.

Key words: Decision Support System (DSS); Web; Municipal Wastewater Treatment Plant; Simulation System; Expert System; Decision Support Center

决策支持系统(DSS)诞生于20世纪70年代,是一种交互式的计算机信息系统,用以辅助决策者利用数据、知识和模型等信息来明确和解决各种决策问题^[1]。

城市污水厂决策支持系统的研究是在国际水质协会(IWQ)20世纪70年代末提出的仪器化、控制化和自动化(ICA)技术^[2]的基础上发展起来的,它是城市污水处理系统的智能控制理论与技术研究的一个重要部分。城市污水厂决策支持系统的引入既能够辅助技术人员控制污水厂的运行,又能够辅助科研人员进行科学研究。

随着计算机和通讯技术的发展,决策支持系统在广度(如决策支持中心和群决策支持^[1])和深度(如先进的模型和深入数据分析)上得以发展。基于Web的城市污水厂决策支持平台研究的目的正是力求对现有决策支持系统在广度上进行扩展,同时为深度发展奠定基础。

1 城市污水处理厂决策支持平台

1.1 污水处理决策支持系统的研究现状

在城市污水处理厂决策支持系统研究中,两个重要的研究领域是基于污水处理过程模型的模拟系统和基于知识库及推理机的专家系统。

收稿日期:2004 - 12 - 06

作者简介:王 征(1978 -)男,汉族,山东省泰安市人。清华大学环境科学与工程系,环境模拟与污染控制国家重点联合实验室硕士研究生。研究方向为污水处理过程模拟、自动控制以及污水厂信息系统。

活性污泥污水处理模拟系统如 EFOR、GPS - X、West THASS 等,大多采用 AWQ 提出的活性污泥模型 ASM1、ASM2/ASM2D、ASM3。这些模型综合了活性污泥系统中碳氧化、硝化、反硝化和生物除磷等多个过程,能够用于模拟污水生物处理的全过程^[3]。

以实际运行经验为基础的污水处理厂专家系统可以解决一些难以数学建模的,模拟系统不易解决的问题。早在 1980 年,英国 Norwich 污水处理厂进行的自动控制研究中就使用专家知识进行污水处理厂的自动控制^[4]。清华大学环境系从 1998 年开始开展污水处理专家系统理论的研究,并于 2000 年开发了针对城市污水处理厂的专家系统。

同时包括模拟系统和专家系统的决策支持系统,可以解决结构化和非结构化(或半结构化)的问题,被称为智能决策支持系统^{[6][7]}。清华大学 2003 年开发的 Operating Decision Support System (ODSS) 系统就是包括模拟系统与专家系统的城市污水厂智能决策支持系统,在国内部分污水厂中使用,并取得了良好的效果^[9]。

1.2 现有决策支持系统存在的问题

目前的城市污水处理厂决策支持系统(包括模拟系统和专家系统)因为是单机版软件,因而普遍存在以下局限性:

(1) 单机版污水处理厂决策支持系统的安装、维护和升级,例如工艺流程的修改和专家知识库的扩充等,需要在各个污水处理厂分别进行,维护困难。

(2) 各个污水处理厂的工艺流程、运行条件和构筑物参数不完全相同,决策支持系统需要根据污水厂具体情况做出相应调整,具体工作需要由技术专家协助完成。

(3) 专家系统尚不完善,不能替代技术专家分析和解决一切问题,很多问题仍需要由专家进行分析和决策。

(4) 模拟系统的运行结果,有时需要由专家进行分析解释。同时多个污水处理厂的运行数据和模拟结果不易进行汇总分析。

1.3 城市污水厂决策支持平台的提出

计算机和网络技术的发展,使得 Web 系统逐渐能够实现单机版系统中的大部分功能,同时网络技术可以在广度上大大扩充传统决策支持系统的功能。因此,我们提出了基于 Web 的城市污水处理厂决策支持平台的概念,以 Internet 技术为基础,力求实现基于 Web 的决策支持系统和决策支持中心(DSC)^[11]的思想。

(1) 基于 Web 的决策支持系统是指将决策支持系统由原来的单机架构,转换为基于 Internet 和 Web 的浏览器/服务器(B/S)架构^[10]。用户可以通过 Web 浏览器登录决策系统,在线使用模拟系统和专家系统,而无需安装单机软件,从而解决了目前在软件安装、维护和升级中存在的问题。

(2) 决策支持中心是指为用户与专家、用户与用户、专家与专家之间创建一个信息交流和资源共享的平台,并为进一步科学研究奠定基础。通过技术交流,少数专家可以为多家污水厂进行决策分析指导和技术咨询,帮助污水厂技术人员分析和理解决策支持系统的运行结果;专家可以对多家使用决策支持网站进行决策分析的污水处理厂的运行数据和决策分析结果进行分析;专家之间可以进行交流,共同分析解决问题,实现群决策支持(GDSS)^[11]的思想。

另外,还可以充分利用 Internet 的优势,在决策支持平台上,实现污水处理行业的新闻发布、论坛、民意调查、邮件列表等功能。决策支持平台的整体架构如图 1 所示。

2 决策支持平台的系统设计

基于 Web 的城市污水处理厂决策支持平台以清华大学环境系最新开发的单机版的 ODSS 城市污水处理厂智能决策支持系统^[9]为基础开发,同时实现活性污泥工艺模拟系统和专家系统两部分决策支持功能,采用的活性污泥模型、模型算法、知识库、推理机算法等以 ODSS 系统为基础。

2.1 系统开发平台

系统开发平台选用 Microsoft NET 2003。NET 适合开发 B/S 架构的软件系统,利用 ASP.NET 和

ADO.NET技术,可以大量使用面向对象的设计思想,实现代码重用,从而提高系统的可扩展性和可移植性。

决策支持平台 Web系统的数据库系统采用 Microsoft SQL Server 2000。SQL Server不仅支持关系数据库,还支持数据仓库、在线分析处理 (OLAP)和数据挖掘服务,这为进行深入数据分析,扩充决策支持系统的功能打下基础。

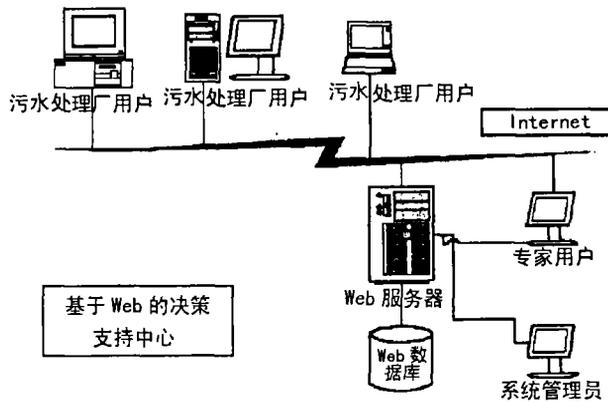


图 1 基于 Web决策平台的架构

Fig1 Structure of Web - based decision support platform

2.2 系统设计

城市污水厂决策支持平台 Web系统由多个功能模块组成,如图 2所示。系统采用面向对象思想设计,同时将每个功能模块划分为表示层 (Web)、业务逻辑层 (Business)、数据层 (Data) 3层。网站模块的组织通过.NET的命名空间机制实现,文件夹与命名空间对应。其中网站主模块位于 WebCore目录下,各层基类位于 Base目录下,各个功能模块位于 WebModules目录下,如图 3所示。

(1)网站主模块

主模块是整个决策系统的入口,包含有 Web站点的基本要素,如主页、页面导航、题头和脚注等,同时提供与其他功能模块的接口。主模块中同时使用静态 html页面与动态 aspx页面,采用 ASP.NET与其他静态网页开发工具 (如 Dream Weaver)共同开发。

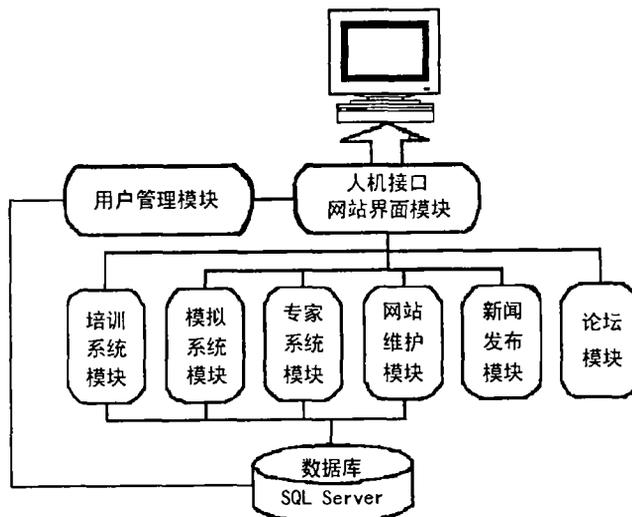


图 2 决策支持平台功能模块

Fig2 Functional Modules of the System

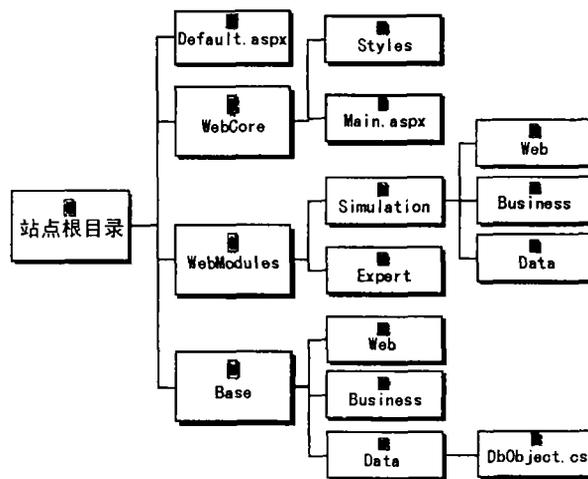


图 3 网站模块结构图

Fig3 Module organization of the system

(2) 用户管理模块

城市污水处理决策支持平台的主要用户类型及其对应权限、职责如表 1 所示。为了确保 Web 系统中用户信息和数据的安全,在用户及安全性管理模块中对不同权限级别的用户账号、口令和操作行为进行管理。

表 1 系统用户及其权限

Table1 System users and authorities

用户类型 Users type	用户权限和职责 Users' authority limits and duty
管理员	维护整个站内所有资源,负责管理页面内容,数据库数据,其他用户账号等。
专家用户	维护决策支持系统,如模拟系统的参数、工艺流程、专家知识库等。并能够查看所有用户的运行数据,进行汇总分析。
普通用户	可以利用站内提供的决策支持功能,进行模拟计算和专家决策分析。
游客	只可以浏览站内公开的信息资源。

(3) 模拟系统模块

模拟系统模块是决策支持的一个核心部分,其功能为:通过模拟和预测,对污水处理过程进行静态和动态模拟分析,对处理过程中的各项参数进行敏感性分析,以及参数估值和模型校验等^[8]。模拟系统模块采用 IAWQ 系列活性污泥模型 ASM1、ASM2、ASM2D,以及二沉池沉淀模型。

由于受到网络传输速率和瘦客户端 (Web 浏览器) 功能的限制,Web 的系统不易实现很高的界面友好程度,因此模拟系统中预先存储多种典型的污水处理工艺流程,供用户选择使用,如表 2 所示。

表 2 污水处理典型工艺流程系统

Table2 Classic technical processes

名称 Name	描述 Description
传统活性污泥法	进水单元—预处理单元—初沉池单元—好氧单元—二沉池单元—出水单元
AO 法	进水单元—初沉池单元—缺氧单元—好氧单元—二沉池单元—出水单元
A2O 法	进水单元—初沉池单元—厌氧单元—缺氧单元—好氧单元—二沉池单元—出水单元
倒置式 A2O 法	进水单元—初沉池单元—缺氧单元—厌氧单元—好氧单元—二沉池单元—出水单元

(4) 专家系统模块

基于规则的污水处理厂专家系统以专家知识库 (其中包括污水处理工程领域内专家的经验和本知识) 为基础,利用推理机对污水厂运行情况进行决策分析。其主要功能包括以下几部分:

运行指导和警报:

专家系统中存储城市污水处理厂常规运行参数值,并根据污水处理过程实际运行参数值的大小,对污水处理过程的日常运行进行指导,及时发现异常运行参数值并发出警报。

故障诊断和分析:

根据污水处理工程领域内专家的经验 and 书本的知识,针对污水处理过程中出现的各种运行故障和出水问题进行分析和诊断,并提供解决问题的策略和方法。

故障检索和经验知识:

故障检索功能可以全面地对故障的原因进行分析,解决故障。

专家系统模块由知识库、推理机、综合数据库、解释程序、知识获取程序、人机接口等 6 个部分组成。数据组织方式、推理机、解释程序的程序流程和实现算法与单机版系统相同。

(5) 培训系统模块

培训系统的内容包括对模拟系统、专家系统使用方法的讲解和演示;污水厂运行流程和单元参数的介绍;模拟计算采用模型的讲解等。

培训系统模块主要由静态网页构成,与培训系统相关的内容种类、名称、页面导航等采用 XML 文件格式进行存储,而不存放在数据库中,这样能够减轻数据库的访问量,从而提高决策系统运行的稳定性。

(6) 网站管理模块

供管理员用户和专家用户使用,通过在线方式进行站点内容的添加、修改、删除等操作。例如管理员进行功能模块的添加和删除,修改培训系统的内容等。专家用户对模拟系统和专家系统模块的管理,如修改专家知识库,添加污水处理工艺流程,修改模型参数等。

(7) 其他功能模块

决策支持平台上还可以添加其他 Web 功能模块,例如新闻发布、论坛、邮件列表管理,以及专门用于数据分析的功能模块等。

2.3 数据库设计

作为 Web 系统,需要允许多个用户同时访问,进行数据库读写,数据库的健壮性和可靠性非常重要,同时为了增强系统的数据分析能力,因此采用 Microsoft SQL Server 2000 数据库系统。在系统移植过程中,使用 SQL Server 2000 的 Data Transformation Services (DTS) 工具将 Access 中的数据导入 SQL Server 中。

在本系统中,使用一个数据库,存放模拟系统、专家系统、用户管理等多个模块所需的数据表。

对于城市污水处理厂决策支持系统中的模拟系统而言,需要在数据库中存放污水处理流程工艺中每个单元的单元参数、模型参数(化学计量学参数和动力学参数)、以及工艺流程的相关信息等。

另外,为了对多个污水厂的运行数据和模拟结果进行综合分析,在数据库中添加了一个表,用以存放所有用户的运算数据。从而可以方便地对使用相同处理工艺的模拟数据和结果进行比较,也可以对使用相同模型的模拟数据和结果进行比较分析。

专家系统的数据库以污水处理工艺流程中每个单元的参数数据表为基础。专家知识库与综合数据库中存放专家系统运行过程中所需要和产生的所有信息,包括问题描述、中间结果,解题过程的记录等信息^[41],以及每个污水处理单元的参数信息。

用户账号和权限管理由多个数据表构成,其关系图如图 4 所示。系统管理员可以通过网站管理模块进行用户数据表的维护操作。与此类似,系统专家知识库、模型参数数据表、工艺流程数据表的更新和维护工作,也由专家用户通过网站管理模块在线完成。

3 结论与展望

在城市污水处理厂决策支持平台研究中创建了基于 Web 的决策支持系统(模拟系统和专家系统),解决了单机版系统的局限;利用 Web 平台,实现了决策支持中心的思想,方便了污水处理厂技术人员和专家之间的交流和信息共享;同时,系统采用模块化和面向对象设计方法,可以在软件平台上继续改进已有模

块的功能,添加新的功能模块,使其对污水处理的决策支持功能进一步增强,例如:

(1)增强决策支持的数据分析能力

重新组织用户决策分析的数据,利用 SQL Server DTS工具创建数据仓库或数据集市,使用 OLAP和数据挖掘进行数据分析,也可以利用其他数学模型或是采用其他数理统计方法进行数据分析。

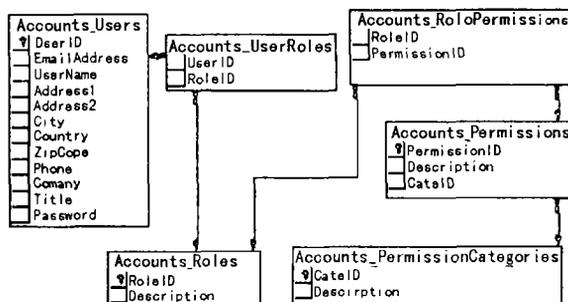


图 4 用户管理数据表关系图

Fig4 Relations of user management data tables

(2)扩展 Web决策支持系统的功能

增强 Web系统界面友好性,例如实现交互式的工艺流程编辑;利用宽带网络实现用户之间的语音或视频交流;使用更先进的污水处理模型;实现自学习的专家系统等。

(3)加强对单机版决策支持系统的支持

增加决策支持平台与单机版决策支持系统的通讯功能。例如,实现单机版决策支持系统发送数据至决策支持中心,决策支持中心进行决策分析,并把结果发回单机版的决策支持系统的功能。还可以在决策支持中心发布最新版的专家知识库、模型参数等,供单机版决策支持中心下载升级。

(4)实现区域水环境决策支持

在拥有大量污水厂运行数据、模拟运算结果的前提下,可以在系统中引入区域管网及收纳水体数据,进行区域水环境的决策分析。

参考文献

- [1]高洪深. 决策支持系统(DSS)理论方法案例第二版[M]. 北京:清华大学出版社,2000
- [2]Barnett M W, Stenstrom M K, Andrews J F. Dynamics and control of wastewater system[M]. PA: Lancaster, Technomic publishing Company Inc., 1998
- [3]Gujer W, Henze M, Mino T. Activated sludge model[J]. Wat Sci Tech, 1999, 39(1): 183 - 193
- [4]Tong RM, Beck MB, Latten A. Fuzzy control of the activated sludge wastewater treatment process[J]. Automatica 1980, 16(6): 695 - 701
- [5]任明仑,杨善林,朱卫东. 智能决策支持系统:研究现状与挑战[J]. 系统工程学报, 2002, (17): 430 - 440
- [6]陈文颖. 环境智能决策支持系统[J]. 上海环境科学, 1998, 17(7): 4 - 6
- [7]徐丽婕. 专家系统和模拟系统结合的污水处理厂运行决策支持系统[D]. 申请清华大学工学硕士学位论文, 2003
- [8]徐晓霞,汪应洛. 基于 World Wide Web的决策支持模型研究[J]. 管理工程学报, 1999, 12: 62 - 66
- [9]Chen Wei - Chou, Hong Tzung - Pei, Jeng Rong A framework of decision support systems for use on the World Wide Web[J]. Journal of Network and Computer Applications, 1999, 22: 1 - 17