

文章编号:1000-582X(2010)03-103-05

污水处理工艺选择灰色理论模糊决策方法及实现

肖铁岩,林常春,罗固源,吉芳英

(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400045)

摘要:为了提高污水处理工艺决策过程的效率和决策结果的准确性,选择由灰色理论发展起来的模糊决策方法,引入两两对比加权平均法计算得到各个指标的权重,对决策过程进行优化,建立优化的模糊决策方法,并基于该方法,在 Apache+PHP+MySQL 开发环境下,以网络数据库为基础,开发了污水处理工艺选择 Web 决策支持系统。该决策支持系统基于优化模糊决策方法,引入权重进行优化,突出了各影响因素的重要性,进一步提高了决策的准确性,利用该决策支持系统,决策过程可在互联网上进行,提高了决策的效率。

关键词:污水处理;计算机辅助分析;网络决策系统;模糊决策;工艺选择

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

Fuzzy decision for wastewater treatment process selection based on gray-theory and its application

XIAO Tie-yan, LIN Chang-chun, LUO Gu-yuan, JI Fang-ying

(Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: Decision-making of sewage treatment process directly affects the accuracy and efficiency of the process selection. An optimized fuzzy decision method is proposed based on fuzzy decision and contrast weighting method. Moreover, a web-based decision-making support system for the selection of sewage treatment process is developed with the Apache+PHP+MySQL development environment. The system had realized the online decision-making for sewage treatment process, and enhanced accuracy and reduced the decision-making time.

Key words: wastewater treatment; computer aided analysis; web based system; fuzzy decision method; process selection

污水处理工艺选择是污水处理厂建设的关键。目前污水处理工艺的方案选择多为简单的技术经济分析与经验判断,其选择过程的主观性强,逻辑性和系统性差^[1]。为了解决这些问题,国内外学者进行了大量的研究。而研究内容主要集中在两个方面:一是污水处理工艺决策方法的研究,二是工艺决策手段的研究。

在决策方法上,学者们利用层次分析法^[2]、灰色关联分析法^[3-4]、熵权法^[5-6]、多目标规划^[7]等求解手段进行了研究。各种综合评价方法的有效使用,一方面提高了决策的准确性。另一方面由于优选过程自身的复杂性,也增加了计算、劳动的强度。

随着计算机技术的发展,有学者将各种优化决策过程编制成了计算机软件,形成了有效的工艺决

收稿日期:2009-10-26

基金项目:科技部国际合作项目(2007DFA90660);重庆市重大科技专项(CSTC 2008AB7133)

作者简介:肖铁岩(1955-),男,重庆大学副教授,主要从事水污染控制理论与技术研究,(E-mail)tyxiao@cqu.edu.cn。

策支持系统^[8-9],从而大大缩短了决策时间。但单机版的污水处理工艺决策支持系统普遍存在着多个方面的局限性,如安装、更新、维护和升级困难,交互性差等^[10]。

监管信息化、数据挖掘技术^[11-12]、GIS^[13-14]等现代技术在城镇污水处理系统中的广泛应用和网络技术的发展,使得 Web 系统不仅能够实现单机版决策软件中的功能,而且基于 Web 的污水厂工艺比选系统具有更多不可比拟的优势。笔者在由灰色理论发展起来的模糊决策方法的基础上,建立优化的模糊决策方法,并基于优化的模糊决策方法和网络数据库,在 Apache+PHP+MySQL 的开发环境下,开发污水处理工艺选择 Web 决策系统。

1 决策方法

在工艺决策方法上,考虑到污水处理工艺决策过程的多指标性和不确定性(模糊性),选择由灰色理论发展起来的模糊决策方法^[4,15],并针对模糊决策方法将各个指标同等看待,没有突出某些影响因素的重要性这一问题。引入两两对比加权平均法计算所得的权重对其进行优化,建立优化的模糊决策方法。该方法的原理和步骤如下。

1.1 评价指标集的建立及其量化

建立如下 8 个评价指标:工程投资 K1,经营成本 K2,占地面积 K3,氮、磷有机物去除效果 K4,污泥处理效果 K5,工艺技术成熟性 K6,运行稳定性 K7,操作管理难易程度 K8。

其中 K1,K2,K3 为确定性指标。根据《全国市政工程投资估算指标》(HGZ 47-104—2007)进行估算得到。K4,K5,K6,K7,K8 为不确定性指标,用 5 级划分法,即优、良、中、差、劣表示,分别对应数值 0.9、0.7、0.5、0.3、0.1。

1.2 各指标权重的计算

采用两两对比加权平均法计算各指标的权重。由于评价指标在不同技术方案中所占的重要程度有所不同,因此,根据评价对象的具体情况,分别将各评价指标与其余评价指标一次一项地逐项对比评分,每一次为两次评价指标对比,根据各自在技术方案中的重要程度,评出各自的得分,每对指标的分数和记为 1.0,则按其在技术方案中的相对重要程度计为:(0.9,0.1);(0.8,0.2);(0.7,0.3);(0.6,0.4);(0.5,0.5)。经过这样对比计分,如技术方案中有 k 项综合评价指标,则每项指标共有 $k-1$ 次得分,各项指标总分即为 P_j ,即:

$$P_j = \sum_{m=1}^{k-1} F_{jm},$$

式中: P_j 为第 j 项指标总分($j=1,2,\dots,k$); F_{jm} 为第 j 项指标第 m 次对比得分($m=1,2,\dots,k-1$)。

以每项指标总分与全部指标总分的比值表示各项指标的权重 W_j 。设两两对比的总组数为 N ,则 N 是从 k 个元素中每次取 2 个元素的组合,即

$$N = \frac{k(k-1)}{2},$$

式中 k 意义同前。

则各个指标的权重 W_j 为: $W_j = P_j/N$ 。

1.3 按灰色关联法进行决策

1.3.1 建立候选方案及理想方案

设有 n 种候选方案 S_i ,对于每种方案有 k 个影响因素,以 $x_i(j)$ 表示第 i 种方案的第 j 个因素值,建立关于候选方案的比较数列。

$$\{x_i(j)\} = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k)\} \\ (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k).$$

将 n 种候选方案中第 j 项因素的理想值作为理想方案 S_0 的第 j 项因素值,即 $x_0(j)$ 。则理想方案的参考数列表示如下:

$$\{x_0(j)\} = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(k)\} \\ (j = 1, 2, \dots, k).$$

1.3.2 数据规范化处理

采用归一化方法对原始数据作无量纲化处理

$$x'_i(j) = \frac{x_i(j)}{x_0(j)}; x'_0(j) = 1 \\ (j = 1, 2, \dots, k),$$

式中: $x'_i(j)$ 为规范化后的候选方案数列; $x'_0(j)$ 为规范化后的理想方案数列。

1.3.3 计算关联系数

$$\xi_i(j) = \frac{0.5 \max \max |x_0(j) - x_i(i)|}{|x_0(j) - x_i(j)| + 0.5 \max \max |x_0(j) - x_i(j)|} \\ (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k),$$

式中: $\xi_i(j)$ 为 x_0 与 x_i 在第 j 个因素处的关联系数; $|x_0(j) - x_i(j)|$ 为候选方案数列 x_i 与理想方案数列 x_0 在第 j 个因素处的绝对差; $\max \max |x_0(j) - x_i(j)|$ 为 x_0 与 x_i 在方案 i 与因素 j 处的最大最大绝对差。

1.3.4 计算关联度

综上所述,备选方案的综合关联度为

$$r_i = (W_1, W_2, \dots, W_j) \times (\xi_i(1), \xi_i(2), \dots, \xi_i(j))' \\ (i = 1, 2, \dots, n; j = k, \text{即为指标个数}).$$

1.4 最佳方案的确定

关联度最大的备选方案即为最佳方案。

2 决策系统的设计和开发

2.1 开发环境

本系统的开发环境为 WindowsXP+Apache + PHP+ MySQL。涉及的开发软件如表 1 所示。

表 1 开发工具软件列表

序号	软件名称	功能描述
1	apache_2.2.4-win32	Web 服务器
2	php5.2.5 win32	服务器开发语言
3	mysql-5.0.22-win32	数据库管理系统
4	phpMyAdmin-2.11.8.1	MySQL 管理工具
5	SmartTemplate-1.2.1 ^[16]	PHP 模板引擎
6	Zend Studio 5.51	代码编辑工具

2.2 决策系统的设计

决策系统开发的核心目标是:设计基于数据库和优化模糊决策方法的工艺决策系统。具体决策过程由各个专家和最终决策者共同完成,共分 5 个步骤。具体步骤和原理如下:

1)获取待建污水厂的基础资料。专家各自在公告模块下载待建污水厂的基础资料。

2)不确定性指标赋值。专家各自根据基础资料,对具体工艺的各个不确定指标进行赋值,对应结果经后台自动处理后,存入指标数据库表中。

3)指标权重赋值。专家各自对各个指标的权重进行赋值,对应结果经后台自动处理后,存入权重数据库表中。

4)确定性指标赋值。最终决策者根据估算结果,补充填入确定性指标的值。

5)得到最优方案。系统自动处理指标数据库表,确定性指标表单及权重数据库表,将对应数值按灰色关联法进行系列计算,最终得到最优方案。

2.3 决策系统的开发

网站系统开发包括 5 个步骤,分别为系统整体设计、数据库设计、系统框架的搭建、各目录下各个文件的编程、网页调试输出及网站的运行调试。

2.3.1 系统的整体设计

本系统的核心模块是工艺选择辅助系统模块。此外有专家模块、公告模块和留言板模块作为辅助模块。因此,系统的功能模块如图 1 所示。

2.3.2 数据库的设计

数据库中主要创建了以下数据库表,如表 2-7 所示。

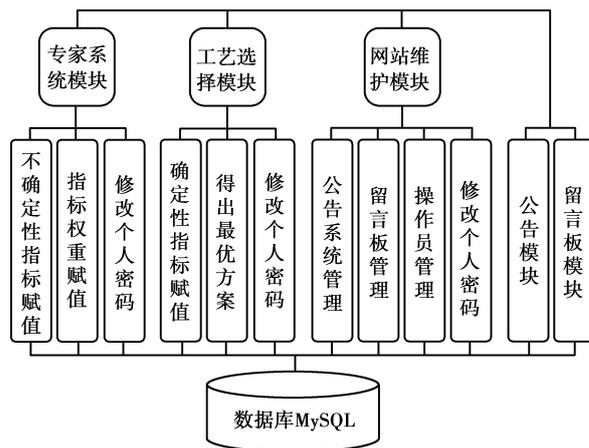


图 1 决策支持系统功能模块

表 2 数据库表

表名	说明
wtp_info	污水厂基本信息表
water_tech	水处理工艺表
operator	操作员(专家)表
indicator	定性指标表
weight	权重表

表 3 wtp_info 表

字段名	类型	长度	字段说明	主键
tpin_id	int		自增 id	是
tpin_wtp_no	varchar	14	污水厂编号	否
tpin_wtp_name	varchar	100	污水厂名称	否
tpin_prov	enum		所在省份	否
tpin_scale	float	(6,2)	设计能力	否
tpin_wtp_intro	longtext		基础资料	否

表 4 water_tech 表

字段名	类型	长度	字段说明	主键
wate_id	int		自增 id	是
wate_no	varchar	8	工艺编号	否
wate_name	enum		工艺名称	否
wate_intro	longtext		工艺简介	否

表 5 operator 表

字段名	类型	长度	字段说明	主键
oper_id	int		自增 id	是
oper_no	varchar	14	登录名	否
oper_pwd	varchar	10	登录密码	否
oper_name	varchar	10	真实姓名	否

表 6 indicator 表

字段名	类型	长度	字段说明	主键
indi_id	int		自增 id	是
indi_wate_no	varchar	8	工艺编号	否
indi_wtp_no	varchar	14	污水厂编号	否
indi_oper_no	varchar	14	操作员编号	否
indi_np	float	(4,2)	K4 指标	否
indi_yxkk	float	(4,2)	K5 指标	否
indi_wnc1	float	(4,2)	K6 指标	否
indi_csx	float	(4,2)	K7 指标	否
indi_caoz	float	(4,2)	K8 指标	否
indi_date	date		操作日期	否

表 7 weight 表

字段名	类型	长度	字段说明	主键
weig_id	int		自增 id	是
weig_wtp_no	varchar	14	污水厂编号	否
weig_oper_no	varchar	14	操作员编号	否
weig_jjtz_qz	float	(6,4)	K1 指标权重	否
weig_yxcb_qz	float	(6,4)	K2 指标权重	否
weig_zdmj_qz	float	(6,4)	K3 指标权重	否
weig_np_qz	float	(6,4)	K4 指标权重	否
weig_yxkk_qz	float	(6,4)	K5 指标权重	否
weig_wnc1_qz	float	(6,4)	K6 指标权重	否
weig_csx_qz	float	(6,4)	K7 指标权重	否
weig_caoz_qz	float	(6,4)	K8 指标权重	否
weig_date	date		操作日期	否

2.3.3 系统框架的搭建

根据系统功能设计系统目录结构及页面布局,并创建必要的公用文件。该应用系统文件根目录下创建如下各个目录:

1)Common 目录。公用文件目录,该目录下保存 SmartTemplate 模板的 3 个文件、访问数据库类 db_mysql.class.php、公用函数文件 function.php。

2)Compiled 目录。作为 SmartTemplate 模板的编译文件保存目录。

3)Html 目录。用于保存页面公用内容文件、图片、flash 动画等。

4)Operator 目录。保存网站管理人员模块文件。

5)Manage 目录。保存专家系统模块文件。

6)Client 目录。保存客户端服务模块所有文件。

7)Upload 目录。保存上传的公告新闻附件、图

片、水处理技术图片。

8)Login 目录。保存登录管理所有文件。

9)Notebook 目录。保存留言回复、浏览的文件。

10)Cache 目录。用于保存缓存的输出。

此外,除了以上目录,根目录下建立如下文本。

1)index.php:实现页面跳转,跳转到网站首页;

2)global_client.php:引用 db_mysql.class.php,class.smarttemplate.php,function.php,并定义一系列公共页面的函数,如顶部公用页面 init_page()、底部公用页面 end_page();

3)global_manage.php:与 global_client.php 基本相同,外加 session_start()。

2.3.4 文件的编程、网页的调试输出

编程采用 PHP 代码和 HTML 代码分开编程。使用 SmartTemplate 将显示逻辑和业务处理逻辑分开,将 PHP 代码和 HTML 代码分离。

在以上的决策过程中,各数据库表中数据的计算、调用等过程相对而言较为容易实现,最后采用优化的模糊决策方法进行计算的过程较为复杂。采用 PHP 和 HTML 代码分开进行编码。其中 PHP 代码程序的主流程(以注释方式编写)可为:

```
<? php
```

```
//接收传递过来的数据,存入变量,并判断有效性
```

```
//如果数据完整,则对数据进行分类标准化处理,K1,K2,K3 指标值越小越理想,其余指标越大越理想
```

```
//得到标准化的数据矩阵,计算参考数列与比较数列在对应点的绝对差
```

```
//进一步计算得出各对应点的关联系数矩阵
```

```
//将数据库表中的对应权重值汇总计算,乘以关联系数矩阵后,计算得出各个方案的关联度
```

```
//根据相应的 HTML 代码,构造输出结果
```

```
//实例化 SmartTemplate 对象,指定模板文件,将数据与占位符关联,最后输出
```

```
? >
```

至于代码的调试,采用 Zend Studio 及网页输出进行调试。

2.3.5 网站的运行调试

所有的编码工作完成后,网站进行试运行。检测各个模块的功能能否顺利完成,特别是检验工艺辅助选择模块计算过程、计算输出是否正确,检验工艺选择辅助模块设计是否合理。对存在的问题进行解决。

3 结 语

1)为了实现污水处理工艺选择过程中的科学决策,选择由灰色理论发展起来的模糊决策方法,并引入两两对比加权平均法计算所得的权重对其进行优化,建立了优化的模糊决策方法。

2)基于优化的模糊决策方法,以网络数据库为基础,在 Apache+PHP+MySQL 开发环境下,开发了污水处理工艺选择 Web 决策支持系统。

参考文献:

- [1] 罗固源,冯杰,季铁军. 优化 AHP 方式下对污水处理工艺的优选[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2007,30(4):44-48.
LUO GU-YUAN, FENG JIE, JI TIE-JUN. Improved analytic hierarchy process used in optimal selection of wastewater treatment process[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2007, 30(4):44-48.
- [2] SAATY T L. Decision making with the AHP: why is the principal eigenvector necessary [J]. European Journal of Operational Research, 2003,145(1):85-89.
- [3] ZENG GUANG-MING, JIANG RU, HUANG GUO-HE, et al. Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis[J]. Journal of Environmental Management, 2007,82(26):250-259.
- [4] 凌猛,杭世君. 城市污水处理厂工艺方案模糊决策方法的应用[J]. 给水排水,1998,24(3):6-9.
LING MENG, HANG SHI-JUN. Application of the fuzzy decision method for process selection of urban WTP [J]. Water&Wastewater Engineering, 1998, 24(3):6-9.
- [5] COOTES T F, TAYLOR C J, COOPER D H. Active shape models-their training and application [J]. Computer Vision and Image Understanding, 1995, 161(1):38-59.
- [6] 明丹. 武汉市三金潭污水处理厂工艺方案比选研究[D]. 武汉:华中科技大学,2006.
- [7] CHUNG E S, LEE K S. Prioritization of water management for sustainability using hydrologic simulation model and multicriteria decision making techniques[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 90(3):1502-1511.
- [8] 冯杰. 城市污水处理厂工艺比选及处理投资分析[D]. 重庆:重庆大学,2007.
- [9] 葛守飞,濮文虹,李振宇,等. 污水处理工艺选择决策支持系统的开发与应用[J]. 工业用水与废水,2005,36(5):3-7.
GE SHOU-FEI, PU WEN-HONG, LI ZHEN-YU, et al. Development and application of decision support system for wastewater treatment process selection[J]. Industrial Water & Wastewater,2005,36(5):3-7.
- [10] 王征,汪诚文,施汉昌. 城市污水处理厂 Web 决策中心的设计与开发[J]. 环境科学与技术, 2006,29(3):58-60.
WANG ZHENG, WANG CHENG-WEN, SHI HAN-CHANG. Design and development of web-based decision support center for municipal wastewater treatment plants [J]. Environmental Science and Technology, 2006,29(3):58-60.
- [11] CARRASCO E F, RODRIGUEZ J, PUNAL A, et al. Diagnosis of acidification states in an anaerobic wastewater treatment plant using a fuzzy-based expert system[J]. Control Engineering Practice,2004,12(1):59-64.
- [12] ZENG G M, LI X D, JIANG R, et al. Fault diagnosis of WWTP based on improved support vector machine[J]. Environmental Engineering Science, 2006,23(6):1044-1054.
- [13] CHANG H. Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea[J]. Water Research, 2008,42(13):3285-3304.
- [14] KALLALI H, ANANE M, JELLALI S, et al. GIS-based multi-criteria analysis for potential wastewater aquifer recharge sites [J]. Desalination, 2007, 215(1/3):111-119.
- [15] 焦瑞虎,许振成. 广东省城市污水处理厂适用工艺优化分析[J]. 广州环境科学,2005,20(1):15-17.
JIAO RUI-HU, XU ZHEN-CHENG. Optimizing analysis of applicable processes for urban sewage treatment plant in guangdong province[J]. Guangzhou Environmental Sciences,2005,20(1):15-17.
- [16] 陈争航. PHP5+MySQL5 Web 应用开发宝典 [M]. 北京:电子工业出版社,2008.

(编辑 王维朗)