

熵权理论在我国六省水污染损害评估中的应用

李磊^{1,2}, 吴晓华², 李圭白²

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2 哈尔滨理工大学
经济管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 基于熵权理论, 依据 2000 年辽、黑、冀、晋、鲁、豫六省工业废水排放及处理情况的资料, 提出了工业废水中的污染物评估模型, 并进行了评估和分析。该模型的评估结果能客观地反映水体的污染情况并为决策者提供参考。

关键词: 水污染; 熵权; 水环境质量

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2006)08-0101-04

Application of Entropy Right Theory in Water Pollution Assessment in Six Provinces of China

L I Lei^{1,2}, W U Xiao-hua², L I Gui-bai²

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. School of Economic Management, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: In accordance of industrial wastewater discharge and treatment data in the provinces of Liaoning, Heilongjiang, Hebei, Shanxi, Shandong, and Henan, the assessment model for pollutants in industrial wastewater was presented based on the entropy right theory, and the assessment and analysis were conducted. The result shows that the model can objectively reflect the pollution in water body, and provide a reference to the decision maker.

Key words: water pollution; entropy right; water environmental quality

选择合理的评估方法, 使评估结果能客观地反映水体的污染状况, 将为控制和防止水污染以及水资源管理保护提供必要的科学依据。目前我国研究污水水质评估的方法很多, 如杨希的水质综合模糊评估^[1]、郑文瑞的非确定数学方法水污染评估^[2]、潘国营的污染指数法^[3]、层次分析方法、灰色理论方法等, 这些方法各具特点, 在环境评估研究中发挥着各自的作用。权重的确定方法主要有主观赋权法

和客观赋权法两大类, 常见的有专家调查法、AHP法、因子分析法等, 但这些方法一般难以摆脱人为因素及模糊随机性的影响, 还有权数的不确定性考虑欠佳, 评估的精度受到挑战^[4], 存在一定的缺陷。按照熵思想, 人们在评估决策中获得信息的多少是评估精度和可靠性大小的决定因素之一, 因此这里用熵来度量所获得的原始数据提供的有用信息量^[5]。

基金项目: 中国博士后基金项目 (2005038201); 国家社会科学基金项目 (04BJY026)

1 熵权的理论基础和主要内容

1.1 信息熵

无论项目评估还是多目标决策,人们常常要考虑每个评价指标(或各目标、属性)的相对重要程度,而表示重要程度最直接和简便的方法是给各指标赋予权重^[6]。

熵是物质系统状态的一个函数。它表示系统的紊乱程度,是系统的无序状态的量度,经过对评估矩阵计算得出的作为权数的熵权,并不是在决策或评估问题中某指标实际意义上的重要系数,而是在给定被评价方案集后各种评价指标确定的情况下,各指标在竞争意义上的相对激烈程度系数。从信息角度考虑,它代表该指标在该问题中提供有用信息量的多寡程度^[7]。

1.2 构造初始数据矩阵

设由 m 个指标构成一个指标体系来比较 n 个评估对象,第 j 个评估对象的第 i 个指标的特征值为 X_{ij} 。于是得到指标的特征值如下:

$$X = (X_{ij})_{m \times n} \quad (1)$$

对于给定的 i , X_{ij} 的差异越大,则不同评估对象间指标值的相对强度越大,它携带和传递的信息越多。

1.3 对特征值进行标准化处理

在权重系数确定的过程中,为了避免人为因素的干扰,拟选用信息熵的方法,从实际数据入手,充分利用数据自身信息,客观地确定出熵权。因此,在计算各指标权重之前有必要先对每个样本进行归一化处理,具体操作如下:

$$y_{ij} = \frac{\max_j X_{ij} - X_{ij}}{\max_j X_{ij} - \min_j X_{ij}} \quad j \in [1, n] \quad (2)$$

1.4 确定各指标权重

设第 i 项指标的熵为 H_i

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (3)$$

其中 $f_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{j=1}^n y_{ij}}$, $k = \frac{1}{\ln n}$, $H_i \in [0, 1]$, $k > 0$

从式(3)可知,当 $y_{i1} = y_{i2} = \dots = y_{in}$ 时, $H_i = H_{\max} = 1$,此时指标 i 对评估对象的比较不起任何作用,可以从指标体系中删除;当 i 固定而 j 取不同的值时, y_{ij} 的值相差越大,表明该指标传递的信息越多,作用也越大,其权值也越大。

设指标 i 的熵权为 w_i , 则

$$w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (4)$$

引用 Zadeh 的定义将可行方案集影射到“距离空间”,并将 $L_2(w, j)$ 作为综合评估的总指标^[8]:

$$L_2(w, j) = \sqrt{\sum_{i=1}^m w_i^2 (1 - y_{ij})^2} \quad (5)$$

显然从综合指标的角度来说,距离小者更接近理想方案,这样就可以按照 L 从小到大进行排序。

2 我国六省水污染损害分析

2.1 研究区域背景

水污染是人为与自然双重因素所引起的特殊灾害,使得水资源匮乏的形势更加严峻。随着经济建设的高速发展,人口不断增加,特别是城市人口急剧膨胀,全国的污(废)水排放量快速增长。目前,全国约有 1/3 以上的工业废水未经处理就直接排入水域,引起大面积水体污染,造成水环境恶化。据对全国七大江河和内陆河的 110 个重点河段的统计表明,符合《地面水环境质量标准》I、II 类河段仅占 32%, III 类的占 29%, IV、V 类的占 39%^[9]。其中,松辽、黄河流域均被严重污染,且主要污染河段均集中在城市河段。松辽流域流经黑、辽、冀等省市,其水污染严重,水环境恶化没有得到有效控制。松辽流域 2000 年地表水 I~III 类水质河段约占评价河段的 40%,超标河段长达 60% 以上,超过 60% 以上的地下水不能饮用。从 20 世纪 50 年代到 2000 年,松辽流域沼泽湿地减少 75%、盐碱地扩大了 3.8 倍、沙地扩大了 22 倍^[10]。黄河流域流经晋、鲁、豫等 9 个省区,相关专家对黄河水污染的状况及危害进行量化分析的结果表明,黄河流域污水排放量比 20 世纪 80 年代多了一倍,黄河干流近 40% 河段的水质为 V 类,基本丧失水体功能,日趋严重的黄河水污染破坏了黄河生态系统,黄河流域每年因污染造成的经济损失高达 115~156 亿元^[9]。

2.2 工业废水中污染物指标的选取

水量型缺水问题日益突出的同时,水质型水资源短缺形势也日益严峻。城市污水大量排放,不仅造成水环境的污染,更加剧了水资源的紧张。据统计,2000 年我国城市污水排放量已达 $332 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中绝大部分污水未经有效处理而排入江河湖海。利用熵权理论对我国两大流域中六省的水污染程度进行了评估(原始数据见表 1)。

表 1 2000年我国六省工业废水排放情况

Tab 1 Industry wastewater discharge in six provinces of China in 2000

$t \cdot a^{-1}$

污染物	辽	黑	冀	晋	鲁	豫
汞	4.548	0.001	0.08	0.096	0.003	0.098
镉	36.452	0.024	0.088	0.378	0.015	0.451
六价铬	2.991	0.295	7.158	1.926	1.380	4.891
铅	36.068	0.213	1.269	5.251	1.103	4.073
砷	19.490	2.619	12.138	2.037	2.438	3.768
挥发酚	495.880	155.821	44.192	1045.746	102.703	44.945
氰化物	64.1	11.3	41.6	40.2	20.8	44.7
COD	327476.3	167795.2	492414.9	157921.7	511409.1	443738.9
石油类	3142.5	1478.5	638.1	904.1	1141.5	1112.9
SS	448910.6	108423.3	120395.6	56449.7	136658.0	203317.5
硫化物	277.4	357.2	221.7	223.7	321.4	396.1

2.3 结果分析

根据表 1,并结合式 (2)、(3)、(4)得出废水中各污染物的熵权 (见表 2)。

表 2 废水中各污染物的熵权

Tab 2 Entropy right of pollutants in wastewater

废水中污染物	熵权
汞	0.069208354
镉	0.069194957
六价铬	0.090691962
铅	0.069819767
砷	0.083755374
挥发酚	0.076958446
氰化物	0.09969722
COD	0.181194631
石油类	0.072580882
SS	0.073359556
硫化物	0.113538861

从表 2可以看出:

指标的熵权越大,熵值越小,各熵权之和为 1,满足:

$$0 < w_i < 1 \quad (6)$$

$$w_i = 1 \quad (7)$$

指标的熵权越小,熵值越大,该指标为决策者提供了有用的信息。同时还说明各对象在该指标有明显差异,应重点考察。例如,在本案例分析中,COD熵权值最大,应优先考虑 COD 的去除。

熵权的大小与被评估对象有直接关系。

我国六省工业废水污染物的综合评估指标见图 1。从图 1可以得出我国六省工业废水中污染物综合评估的总指标 $L_2(w, j)$ 的排列顺序,即含 11 种污染物的工业废水中,污染物综合评估的总指标由高

到低依次为:辽、豫、冀、鲁、晋、黑。

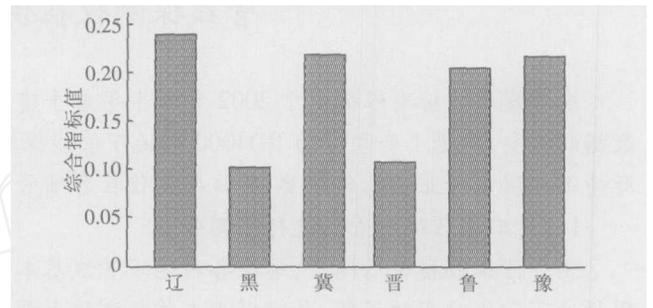


图 1 我国六省工业废水中污染物综合评估的总指标

Fig 1 General indexes of evaluation pollutants in wastewater in six provinces of China

3 结论

利用熵权理论确定工业废水中污染物的权重,基本上能反映我国六省工业废水污染物的综合排放情况,而且可以定量说明,具有较好的客观性。这说明在水污染评估中引入熵权理论,建立数学模型是具体、科学、可行的,其结果比较直观,因此具有较好的应用价值。

参考文献:

[1] 杨希,杨静. PowerBuilder水质综合模糊评估研究 [J]. 矿业工程, 2000, 20(4): 60 - 62

[2] 郑文瑞,王新代,纪昆. 非确定数学方法在水污染状况风险评估中的应用 [J]. 吉林大学学报, 2003, 33(1): 59 - 62

[3] 潘国营,韩怀彦,王永安. 应用 SPSS统计软件和污染指数评估地下水污染 [J]. 焦作工学院学报, 2002, 21(3): 172 - 174

[4] 霍映宝,韩之俊. 基于熵原理的上市公司综合评估研究 [J]. 运筹与管理, 2004, 13(2): 118 - 121.

- [5] Aleksander,Urbanski Entropy of a convolution operator [J]. Open Syst Inf Dyn, 2004, 11(1): 79 - 85.
- [6] 楼成君,陈有才. 熵权多目标决策法在水资源系统决策分析中的应用 [J]. 浙江水利科技, 2005, 32(1): 20 - 22
- [7] 刘智,端木京顺. 基于熵权多目标决策的方案评估方法研究 [J]. 数学的实践与认识, 2005, 35(10): 114 - 119.
- [8] 赵德勇,宋辉. 基于熵权的改进型多指标综合评估方法及应用 [J]. 军械工程学院学报, 2001, 13(3): 47 - 51.
- [9] 王焯,朱琨. 我国水资源现状与可持续利用方略 [J]. 兰州交通大学学报, 2005, 24(5): 77 - 80.
- [10] 王双旺,李和跃. 松辽流域水资源配置的初步思路 [J]. 东北水利水电, 2005, 23(9): 6 - 8

电话: (0451) 86398170

E-mail: lilei59@sohu.com

收稿日期: 2005 - 12 - 26

· 技术交流 ·

管线探测仪在供水管网中的应用

南海发展股份有限公司于 2002 年下半年着手建立供水管网地理信息系统 (GIS), 为满足今后采集外业数据的需要, 购进 1 套型号为 RD4000 的地下管线探测仪。在近 3 年的使用过程中, 结合本地供水管网的实际情况及供水行业的工作需要, 管线探测仪在各项管网建设维护工作中起到以下几方面的作用。

1 对旧城区现有管网进行探测普查

仔细勘察现场地形, 掌握各种地下管线基本分布。对各种地下管线、井盖或标志物的辨识有助于对现场地下管线分布的了解, 并对探测工作起到较大帮助。

尽量排除或减小干扰。在高压电缆附近的区域可优先采用直接充电法进行探测, 若难以找到水管的出露点而使用感应法时应调整合适的频率 (远离 50 Hz 的频率) 和尽可能大的发射功率, 并使用 70% 法进行深度测量。平行管线在有暴露点及良好的接地条件下, 最有效的方法是直接充电法及夹钳法, 对现场不具备有管线暴露点的通常采用压线法: 对于间距稍大的宜采用水平压线法; 间距较小的则宜采用倾斜压线法。

形成合理的探测步骤和方法。一般遵循先主干管后分支管、先简单后复杂、先已知后未知的探测顺序, 对具有比较复杂连接关系的地段更要反复探查, 有疑问的则可使用钎探验证。

掌握常用的方法和技巧。总结探测工作中的经验和教训、掌握好的方法和技巧有助于准确、高效地完成工作。

2 对新安装的管道进行定位, 完成竣工测量工作

新竣工的管线可先请施工人员画出复杂节点的连接关系, 然后用地下管线探测仪在地面上先行定位, 再用全站仪完成测量工作, 最后将外业数据整理后可直接录入 GIS 系统。

3 进行给水管道改造前的探查工作

在将原有钢筋混凝土管改为钢管过程中, 使用管线探测仪定位挖掘位置 (距离为 50 ~ 60 cm)、测定管道的埋深后, 先使用机械挖掘地表土, 在接近管道埋设深度处改用人工挖掘, 可大大提高工作效率。

4 辅助进行供水管网检漏工作

对于超声波探头和管道的连接问题可将探测仪与相关仪器配合使用, 在定位前使用管线探测仪探明供水管线的埋设情况, 避免对漏点定位造成误差。

(南海发展股份有限公司 邹映红 卢旭斌)