

南方某城市水污染物总量控制分配研究

范 平, 吴纯德, 张 帆, 王丽芳, 胡贵平

(华南理工大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510006)

摘要 :从经济、社会和环境系统的整体效益出发,建立了一种定性与定量相结合描述判断矩阵的多指标决策的排污总量分配层次结构模型,并以南方某市化学需氧量总量控制为例说明这种模型的具体运用。该模型在综合分析了各项评价指标后,将求得的各区相对于区域允许排污总量这一总目标的权重之比,作为各区允许排污量之比,然后按此比例在各区间进行排污总量分摊。结果表明,该方法克服了等比例分配的不公平性及排污总量控制系统的不确定性,又兼顾了各区间的实际差异,为该市实行排污总量控制提供了科学依据。

关键词 :总量控制;水污染物;层次分析法

中图分类号 :X32 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2009)04-0020-03

Study on total amount control of water pollution in a southern city of China

FAN Ping, WU Chun-de, ZHANG Fan, WANG Li-fang, HU Gui-ping

(School of Environmental Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract : With the overall benefits of economic, social and environmental system, a hierarchy structure model for total amount distribution of drainage water pollutant was put forward, which used multi indexes decision method and combined qualitatively with quantitatively describing judgment matrix. As an example of the practice application of the model, the model was applied to a southern city in defining the total amount distribution of drainage water pollutant. After various indexes were comprehensively evaluated, the weighted ratio of the permitted total amount of pollutants discharged for each sub-region and target permitted total amount of pollutants discharged of the region was obtained. The weighted ratio was used as the permitted proportion of the amount of pollutants discharged for each sub-region. The total amount of water pollutant discharged for each sub-region should be shared according to this proportion. The results showed that the new model overcame the unjustness due to using the equal proportion distribution method and the uncertainty of the system controlling total amount of water pollutant discharged. The differences among sub-regions were taken into account, and the scientific basis for total amount control in the city was provided.

Key words : total amount control; water pollutant; analytic hierarchy process

总量控制是改善环境质量,实现经济社会可持续发展的重要途径,也是我国环境管理基本制度之一。根据国家主要污染物排放总量控制工作安排,2010年南方某市主要污染物排放总量要控制在3.5万t以内。为完成国家下达的任务,该市进行了“十一五”期间COD总量控制指标分配,将COD允许排放量分配到各区。在兼顾经济发展和环境保护的要求下,各个排污单位或污染源之间如何科学、合理地分配水污染物允许排放量及所制定的排污总量分配方案能否有效实施将成为工作重点。由于区域间在经济、环境、资源和管理等方面存在的差异性^[1-2],以

及排污总量控制系统中由于数据缺乏或相互关系不明确而带来的不确定性^[3-4],使公平分配难以客观量化,所制定的污染物分配方案也就很难达到预期效果。因此,有必要建立一套现实可行的量化允许排放量公平分配方案。笔者运用AHP方法构造排污总量分配模型,对南方某城市水污染物的总量进行分配。

1 总量控制分配模型

总量控制的实质是在污染源与环境目标之间建

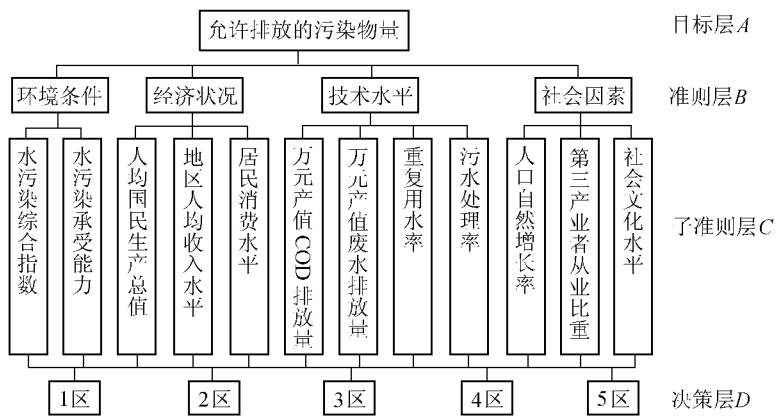


图1 水污染物排放总量分配的层次结构模型

立输入响应关系。水污染排放总量分配问题涉及经济、社会、技术和环境等多方面,属于定性和定量相结合的一类问题,适合运用层次分析法建立水污染物总量控制模型。将允许排放的污染物总量作为层次分析的目标层A,区域内各区评价因子作为层次分析的准则层B、子准则层C,区域各分区作为决策层D,建立AHP系统结构模型^[5-6],如图1所示。

1.1 构建判断矩阵

层次结构建立后,就确定了上下层要素之间的从属关系。在污染物排放总量分配的层次结构中,应首先确定准则层B的 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 对目标层A的权重。再确定子准则层C的 C_1 、 C_2 、 C_3 ... C_{12} 等要素对准则层B的权重。将同层评价因子两两比较,按重要性和不重要性程度大小计分。两者相比的重要性程度分为同等重要、较为重要、很为重要、非常重要和绝对重要5级,等级系数分别记为1、3、5、7、9,介于两相邻等级中间者,重要性程度分别用2、4、6、8标记。判断矩阵的两两比较值由专家在讨论的基础上确定。若判断矩阵记为 $(U_{ij})_{n \times n}$,则有 $U_{ij} > 0$, $U_{ij} = 1/U_{ji}$, $U_{ii} = 1$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$), n 为元素个数。

1.1.1 层次单排序与一致性检验^[3-7]

用方根法计算各判断矩阵最大特征值 λ_{\max} 及其对应的特征向量。由矩阵特征值有关定理可知,上述构造的各正互反判断矩阵存在正的特征值及其对应的正的特征向量,其最大特征值对应的特征向量归一化后,便为该层次相应元素对于上一层某一元素的相对权重,这一过程称为层次单排序。以判断矩阵A-B为例,其方根法的计算步骤为:

$$A - B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 9 \\ 1 & 1 & 3 & 9 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/9 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

①计算判断矩阵中各行元素的乘积 T_i :

$$T_i = \prod_{j=1}^4 t_{ij} (i, j = 1, 2, 3, 4) \text{ 得 } T_1 = 27, T_2 = 27, T_3 = 0.3333, T_4 = 0.0041$$

②计算 T_i 的 n 次方根 β_i ,从而得到向量 β ,其中 n 为元素个数4;

$$\beta_i = \sqrt[n]{T_i}, \beta = (\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4)^T \text{ 得 } \beta = (2.280, 2.280, 0.760, 0.253)^T$$

③用 $W_i = \frac{\beta_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i}$ 对 β 进行归一化处理,得到权重

$$W = (0.409, 0.409, 0.136, 0.046)^T$$

④计算判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^4 [(AW)_i / nW_i] (i = 1, 2, 3, 4)$,得 $\lambda_{\max} = 4.0$

⑤对判断矩阵进行一致性检验。

在评价过程中,要素间的相对重要度估计往往会出现误差,为了检验判断矩阵是否偏离了一致性,往往依据一致性比率 $C.R = C.I / R.I$ 进行判断。

式中, $C.I = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$,表示一致性指标(n 为判断矩阵的阶数), $R.I$ 表示平均随机一致性指标,可通过查表得到($R.I$ 值由表1给出)。

表1 平均随机一致性指标

n	1	2	3	4	5	6
$R.I$	0.0	0.0	0.58	0.90	1.12	1.24
n	7	8	9	10	11	12
$R.I$	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.54

如果 $C.R < 0.1$ 则说明判断矩阵一致性满足要求,即判断结果是可靠的,否则应对判断矩阵进行调整。

按此方法,分别构造判断矩阵 $B_1 - C$ 、 $B_2 - C$ 、 $B_3 - C$ 、 $B_4 - C$,计算最大特征值 λ_{\max} 及其对应的特征向量,结果见表2。

$$B_1 - C = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad B_2 - C = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 5/3 \\ 1/5 & 3/5 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_3 - C = \begin{bmatrix} 1 & 5/3 & 7/3 & 1/3 \\ 3/5 & 1 & 7/5 & 1/5 \\ 3/7 & 5/7 & 1 & 1/7 \\ 3 & 5 & 7 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_4 - C = \begin{bmatrix} 1 & 3/7 & 5/7 \\ 7/3 & 1 & 5/3 \\ 7/5 & 3/5 & 1 \end{bmatrix}$$

表2 判断矩阵计算结果

判断矩阵	最大特征值 λ_{max}	归一化权重向量 W	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	总权重
$A - B$	4.0	(0.409 0.409 0.136 0.046) ^y	0	0											
$B_1 - C$	2.0	(0.5 0.5) ^y	0	0											
$B_2 - C$	3.0	(0.652 0.218 0.130) ^y	0	0											
$B_3 - C$	4.0	(0.199 0.119 0.085 0.597) ^y	0	0											
$B_4 - C$	3.0	(0.211 0.493 0.296) ^y	0	0											

1.1.2 层次总排序与一致性检验^[5]

计算同一层次所有元素对高层目标层的权重,称为层次总排序。设 $W^{(k-1)} = (w_1, w_2, \dots, w_{n_{k-1}})$ 表示第 $k-1$ 层上 n_{k-1} 个元素相对于目标层的排序权重向量。用 $V_j = (V_{1j}, V_{2j}, \dots, V_{n_{kj}})$ 表示第 k 层上 n_k 个元素对第 $k-1$ 层第 j 个元素为准则的排序权重向量(其中无支配的元素权重取为零),则第 k 层上元素对目标层的组合权重向量为:

$$W^{(k)} = (V_1, V_2, \dots, V_{n_{k-1}})W^{(k-1)}$$

组合排序由上而下逐层进行,其结果也要进行总的一致性检验:

$$C.R^{(k)} = \frac{C.I^{(k)}}{R.I^{(k)}} = \frac{[C.I_1^{(k)}, C.I_2^{(k)}, \dots, C.I_{n_{k-1}}^{(k)}]W^{(k-1)}}{[R.I_1^{(k)}, R.I_2^{(k)}, \dots, R.I_{n_{k-1}}^{(k)}]W^{(k-1)}}$$

当 $C.R^{(k)} < 0.10$ 时,则认为在 k 层水平以上所有判断具有整体满意的一致性。

按上述方法,对所构造的判断矩阵进行计算。子准则层 C 对目标层 A 的总排序为(0.205, 0.205, 0.267, 0.089, 0.053, 0.027, 0.016, 0.012, 0.081, 0.010, 0.023, 0.014)^y,总排序一致性比率 $C.R = 0 < 0.10$,满足一致性。

1.1.3 排污总量分摊比例的确定

决策层相对总目标的组合权重,是在较为全面地考虑了经济、社会、环境和技术等条件的基础上得出的,因此,可将其视为各区对允许排污总量占有份

表3 决策层 D 层次单排序、总排序结果

分区	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	总权重
1区	0.2	0.2	0.472	0.504	0.472	0.34	0.12	0.36	0.516	0.2	0.556	0.498	0.356
2区	0.2	0.2	0.158	0.168	0.158	0.17	0.36	0.12	0.172	0.2	0.111	0.166	0.180
3区	0.2	0.2	0.158	0.126	0.158	0.34	0.36	0.12	0.104	0.2	0.111	0.166	0.175
4区	0.2	0.2	0.118	0.101	0.094	0.113	0.12	0.36	0.104	0.2	0.111	0.099	0.151
5区	0.2	0.2	0.094	0.101	0.118	0.037	0.04	0.04	0.104	0.2	0.111	0.071	0.138

额的表示。即各区组合权重之比等于允许排污量之比,按此比例进行排污量分摊。

2 总量分配模型的应用

2.1 化学需氧量排放目标

根据南方某市化学需氧量总量控制目标的要求,到2010年末,该市化学需氧量允许排放量须控制在3.5万t以内。

2.2 化学需氧量总量控制分配

运用层次分析法对允许排污总量分摊问题进行研究。首先构造层次结构模型,见图1所示,根据行政区划分为1区、2区、3区、4区和5区,构成决策层 D 、环境、经济、技术和社会等要素及其所属各单项指标构成准则层 B 、子准则层 C ;目标层 A 为污染物允许排放总量。根据统计资料,构造决策层 D 相对子准则层 C 各元素的判断矩阵 $C_1 - D, C_2 - D, \dots, C_{12} - D$,求出各矩阵最大特征值及其相应的归一化后的权向量,再利用子准则层 C 对目标层 A 的组合权重信息,求出决策层 D 对目标层 A 的总排序权重。

根据 $D_i = \sum_{j=1}^5 d_{ij}C_j (j=1, 2, \dots, 12)$ 得出,1区、2区、3区、4区和5区对允许排污总量的权值依次为0.356, 0.180, 0.175, 0.151, 0.138(表3),总排序一致性比率 $C.R = 0 < 0.10$,满足一致性要求。该市允许排放量为3.5万t,于是,各区允许排放的COD量之比为1区:2区:3区:4区:5区 = 0.356:0.180:0.175:0.151:0.138,则1区应分配12460t,2区6300t,3区6125t,4区5285t,5区4830t。

3 结论

a. 设计了一种基于经济、社会和环境系统诸要素影响的多指标决策的层次分析法来进行排污总量分摊问题研究,实例分析表明该分配方法是可行的。

b. 与等比例分配及一般的数学优化方法相比,层次分析法比较全面地考虑了影响污染物总量分配的各种因素,解决了影响总量控制分配因素众多带来的不确定性问题,提高了污染物总量分配的科学性,更趋合理。该模型为中小区域提供技术手段和科学依据。

省地下水年开采量仅为 20 亿 ~ 25 亿 m^3 ,到 20 世纪末 ,已增加到 130 亿 m^3 。地下水开采量的迅速增加 ,直接导致地下水水位迅速下降。河南省区域浅层地下水水位的埋藏深度在 20 世纪 60 年代之前普遍较浅 ,80% 以上的区域地下水水位埋深小于 4 m ,最大埋深不足 6 m 20 世纪 70 年代起 ,地下水水位逐年下降 ,到 1976 年 ,水位降落漏斗已经形成 ,漏斗中心水位埋深为 10 ~ 15 m ,但尚未出现埋深大于 16 m 的区域 ,到 20 世纪 90 年代初 ,河南省地下水水位埋深小于 4 m 的区域缩小近半 ,最大水位埋深达到 16 m 左右 20 世纪 90 年代末 ,地下水水位埋深小于 4 m 的区域已较小 ,埋深在 4 ~ 8 m 的区域面积最大 ,豫北局部地区地下水水位埋深达 20 ~ 22 m ;到 2005 年 ,河南省地下水水位仍在持续下降 ,区域水位降落漏斗总面积已达近万平方千米 ,水位埋深超过 8 m 的地区已达 21 224 km^2 ,其中超过 16 m 的地区达 5 166 km^2 ,漏斗中心水位埋深已达 32 ~ 33 m 。而河南省浅层地下水硬度超标区的分布大多与此有关 ,它们基本上都位于区域地下水水位降落漏斗区或水位急剧下降区。

4 结果与讨论

河南省平原地区浅层地下水总硬度总体呈升高趋势 ,到 2005 年为止 ,水的总硬度超过生活饮用水标准的地区面积已达 45 047 km^2 ,约占河南省平原地区总面积的 42% ,而且水的硬度有加快升高的趋势。对如何保护珍贵的地下水资源 ,遏制水的硬度急剧升高的趋势 ,笔者建议 :

a. 进一步推进产业结构战略性调整 ,加强重点行业管理与水污染源治理。治污要从源头抓起 ,对

(上接第 22 页)

c. 污染物总量分配合理性的关键是评判指标值的选取 ,指标选取的合理与否对分析结果有重要影响。

参考文献 :

- [1] 张玉清. 河流功能区水污染物容量总量控制的原理和方法 [M]. 北京 :中国环境科学出版社 2001 2-9.
- [2] 杨玉峰 ,傅国伟. 区域差异与国家污染物排放总量分配 [J]. 环境科学学报 ,2001(2) :129-133.
- [3] 梅永进. 层次分析法在沙溪水污染物总量分配中的应用 [J]. 厦门理工学院学报 ,2005 ,13(4) :54-57.
- [4] 林巍 ,傅国伟 ,刘春华. 基于公理体系的排污总量公平分配模型 [J]. 环境科学 ,1996 ,17(3) :35-38.
- [5] 李如忠. 区域水污染物排放总量分配方法研究 [J]. 环境工程 ,2002 ,20(6) :61-64.

于那些污染重、效益低的重点污染企业实行“关停并转” ,标本兼治。通过树立科学发展观 ,整合行业和资源 ,加强环境监督 ,建立废水排放总量控制制度 ,确保重点排污企业排放的废水稳定达标 ,使河南省走出经济发展“粗大型、高污染”的怪圈。

b. 优化农业产业结构 ,研究和推广农业面源污染防治技术。农业面源污染面大量广 ,要以科学发展观为指导 ,因地制宜 ,利用现代科学技术 ,发挥农业资源优势 ,依据经济发展水平及“整体、协调、循环、再生”的原则 ,运用系统工程方法 ,结合新农村建设 ,全面规划 ,综合治理 ,强化生态功能 ,实现农业发展高产、高效 ,达到生态与经济两个系统良性循环和经济、生态、社会三大效益统一 ,使农业的发展、农村经济的增长与资源环境的保护协调同步。

c. 加强地下水资源的统一规划和管理 ,分区限量开采地下水。根据地下水资源的分布状况 ,编制地下水开采规划 ,在地下水水位急剧下降、漏斗范围不断扩大的地区实行限量开采 ,以遏制水的硬度上升过快的势头。

参考文献 :

- [1] 魏秀琴 ,杨新梅 ,豆敬峰 ,等. 河南省地下水环境调查与评价 [R]. 郑州 :河南省地质环境监测院 2006.
- [2] 吕航 ,李泽文 ,秦健 ,等. 长春市地下水硬度异常及形成机理分析 [J]. 中国环境管理 ,2007(6) :33-39.
- [3] 乔光建 ,张均玲. 邢台市平原区地下水环境问题分析 [J]. 水资源保护 ,2002 ,18(4) :25-27.
- [4] 邹胜章 ,张金炳 ,李洁 ,等. 北京西南城近郊浅层地下水盐污染特征及机理分析 [J]. 水文地质工程地质 ,2002 ,29(1) :5-9.
- [6] 潘增辉 ,刘文娟 ,周清 ,等. 层次分析法在衡水湖环境功能区划方案遴选中的应用 [J]. 水资源保护 ,2005 ,21(1) :27-28.
- [7] 洪继华 ,宋依兰. 层次分析法在水环境规划中的应用 [J]. 环境科学与技术 ,2000(4) :32-35.

(收稿日期 2008-07-27 编辑 彭桃英)

(收稿日期 2008-04-15 编辑 高渭文)

