

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2015.06.028

# 基于组合赋权的水污染物总量区域分配方法

陈艳萍, 胡玉盼

( 河海大学商学院, 江苏 南京 211100 )

**摘要:**从公平兼顾效率的角度出发,综合考虑区域的经济、社会和环境等因素,依据代表性和独立性原则,选取与污染物总量分配紧密相关的水资源量、环境容量、人口和生产总值 4 个主要指标,借助熵权法和层次分析法原理,根据主观权重和客观权重对于总量分配的影响程度赋权,得出主客观相结合的组合赋权,最后根据污染物排放控制目标确定分配方案,并以陕西省汉中市 11 个行政区的水污染物总量控制方案为例进行实证分析。结果表明,采取组合赋权方法时,主观权重与客观权重对总量控制影响程度不同,需对重要性加以区分,对客观权重给予更大的权重,同时,实例分配结果符合国家水污染削减比例的要求。

**关键词:**水污染物;环境容量;区域分配;总量控制;主观权重;客观权重;组合赋权

中图分类号:X32 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2015)06-0170-04

## Regional allocation method of water pollutants based on combination weighting

CHEN Yanping, HU Yupan

( Business School of Hohai University, Nanjing 211100, China )

**Abstract:** From the perspective of fairness and efficiency, taking economic, social and environmental factors into consideration, four main indicators closely related to pollutant distribution, including water resources, environmental capacity, population and gross domestic product, are selected according to the principles of representation and independence. Then by means of entropy weights method and AHP, weights are assigned based on different levels of influence of subjective weights and objective weights on the total allocated amount. Then the combination weighting of both subject and object is obtained. In the end, the allocating scheme is determined according to the target of pollutant emission control and is testified in the cases of total water pollutants control schemes of 11 districts in Hanzhong, Shanxi Province. The results show that when adopting combination weights assignment approach, subjective weights and objective weights have different levels of influence on total control. To distinguish the influence, more weights are assigned to objective weights. Meanwhile, distribution results in this paper meet the national requirements of the water pollution abatement proportion.

**Key words:** water pollutants; environmental capacity; regional distribution; total allocation; subjective weights; objective weights; combination weighting

控制水污染对于保护生态环境具有重要作用,针对水污染控制问题,Donald 等<sup>[1]</sup>综合考虑气象和水文等多重影响因子,研究了水污染物允许排污量分配问题;Burn 等<sup>[2]</sup>在研究区域污染负荷分配问题时引入遗传算法,为污染物负荷分配的研究方法提供了新的思路;Grahm 等<sup>[3]</sup>在研究污染物排放总量

分配方案时,重视人口因素的影响作用,将人口因素引入污染物分配研究中。

针对水污染物排放总量分配问题,杨玉峰等<sup>[4,6]</sup>从影响水污染物总量控制的影响因素入手,选择具有代表性的指标进行污染物排放总量分配研究;李如忠等<sup>[7-10]</sup>从指标的权重方面入手,采用各种权重

基金项目:国家社会科学基金(13CGL095);中央高校基本科研业务费专项(2014B20014)

作者简介:陈艳萍(1977—),女,副教授,博士,主要从事水资源管理、决策科学理论与方法等研究。E-mail:chenyp@hhu.edu.cn

分析方法确定指标权重进行研究;王有乐等<sup>[11-13]</sup>则从公平、效率等角度着重研究污染物分配问题。

目前,关于组合权重用于水污染物排放总量分配的文章较少,笔者采用主、客观权重相结合的方法,对主、客观权重的重要性进行区分,并结合“十二五”国家污染物削减目标,以汉中市为例进行污染物总量控制和分配方案的研究,从而得出汉中市各地区的水污染物分配方案。

## 1 基于组合权重构建分配模型

### 1.1 水污染物总量分配原则

水污染物总量控制作为水污染防治的重要环节和保护水环境的重要措施,如何做到兼顾公平和效率两个原则,对水污染总量分配具有积极的研究意义,水污染物控制分配方案还要与环境相匹配,具备可行性。

**a. 公平性原则。**环境资源作为一种准公共物品,具有竞争性和非排他性的属性特征,因此区域间进行污染物总量分配时要考虑到环境资源分配的公平性。国内多数地区采用无偿分配的方式对污染物的排放权进行初始分配,所以每个地区从自身利益的角度出发,都希望在初始排污权的分配中获得更多的允许排污量,从而在地区经济发展中受到更小的限制。考虑到各个地区的差异性,绝对公平的方式不可取,但可以结合各区域的经济、社会和环境等综合状况采取相对公平的污染物总量分配方案。文中选定的人口指标具体体现了公平性原则。

**b. 效率性原则。**污染物排放量与水环境质量密切相关,污染物的允许排放量与当前的水环境容量密不可分。各区域使用水环境容量,但也有义务根据水环境容量限制自身的水污染物排放量,从而促进经济发展与环境保护之间的协调性。污染物排放总量分配不但要考虑公平性,也要考虑效率性,更大程度地发挥水环境容量的作用。文中选定的生产总值指标具体体现了效率性原则。

**c. 环境匹配性原则。**各个地区社会经济、环境和资源等状况皆不同,因此水环境承载力和当前水环境容量具有差异性。因此在制定污染物总量分配方案时应该结合各地区的差异性和现状,保证各区域排污总量在水体环境容量之内或者是以水环境容量为界限不断减少污染物排放量,从而为地区社会经济发展提供环境资源支持,并充分利用环境自净能力和环境容量的再生性。文中选定的水资源量和环境容量两个指标体现了环境匹配性原则。

**d. 可行性原则。**污染物总量分配过程需要结合各个地区的经济水平、技术水平和管理水平和自

身资源环境现状等因素,分配方案要具有可行性。忽视各地区的现状制定分配方案,污染物分配量会出现与地区经济水平等因素不相匹配的情况,使污染物分配工作与预定的目标偏离。

### 1.2 总量分配指标的选取

目前,在水污染物总量分配中,较多人为因素的存在使得公平性量化具有很大争议。公平性的衡量准则可以归结为需求类准则(人口、经济)和供给类准则(水资源量、环境容量)两类。

在需求类准则中,人口准则是指在排污权分配上人人平等,每个人得到的排污权应该相等,即人口众多的区域理应分配更多的环境资源;经济准则是指充分考虑区域的经济贡献,经济贡献多的区域应分配更多的环境资源。在供给类准则中,水资源量准则是指分配排污量需要与水资源量相匹配,即水资源量大的区域可以分配更多的排污量;环境容量准则是指考虑区域的水环境容量,分配的排污量与区域的环境容量相匹配,充分利用水环境的自净能力,即环境容量大的区域纳污能力强,可以分配更多的排污量。

同时,经济指标可以很好地体现效率性原则,文中选定生产总值指标具体体现效率性原则。水资源量和环境容量两个指标也体现了环境匹配性原则。

针对污染物排放情况,结合各区域的社会、经济和环境发展状况,发现水污染物排放量与人口、经济发展水平、环境承载力和资源状况等因素紧密相关,再结合公平和效率原则,最后选出人口、生产总值、水资源量、环境容量4个指标。

### 1.3 主观赋权

层次分析法是一种兼具定性分析和定量分析的方法,它可以将定性问题进行定量化处理。层次分析法是一种主观赋权的分析方法,由于人的主观性因素,因而分析权重主观性强。笔者选取指标较少,根据层次分析法的原理,分析人口、资源、水资源量和环境容量对水污染物分配量的影响作用,结合公平性和效率性原则,赋予4个指标相应的权重。

### 1.4 客观赋权

熵权法作为客观赋权的分析方法,可以有效弥补主观赋权方法的不足。实践当中,根据熵权法计算的客观权重,可以对得出的主观权重做出调整,分析的结果具有客观性,同时满足主观需要,得出符合实际需要的结果。熵权法的计算过程:

**a.** 根据评价指标和评价区域,现有  $n$  个区域,4个指标,构建原始矩阵  $x = (x_{ij})_{n \times 4}$ ,其中,  $x_{ij}$  是指第  $j$  项指标下第  $i$  个区域的数值。

**b.** 指标同质化处理。各项指标单位不一致,属

于异质指标,在对指标进行计算之前,采用正向指标的方法对指标进行规范化处理。

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})}{\max(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}) - \min(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})} \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

式中: $x'_{ij}$ 为 $x_{ij}$ 对应的规范化数值,为了方便起见,仍记数据 $x'_{ij} = x_{ij}$ 。

c. 计算第 $j$ 项指标的熵值 $e_j$ 。

$$e_j = -1 / \left[ \ln(n) \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \right] \quad e_j \geq 0 \quad (2)$$

式中: $p_{ij}$ 为第 $i$ 个区域值在第 $j$ 项指标中所占的比重。

d. 评价指标的熵权 $w_j$ 。

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^4 (1 - e_j) \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^4 w_j = 1 \quad 0 \leq w_j \leq 1$$

## 1.5 确定组合权重 $\alpha_j$

指标权重的主观排序由于结合了专家的经验 and 知识,同时考虑了指标体系对于污染物分配总量的影响,因而指标体系权重的确定和排序具有合理性,但考虑到主观赋权主观随意性很大,客观性不足。熵权法根据原始数据计算权重,权重客观性很强,但是缺少了专家的经验 and 知识,得到的客观结果未必与实际相符。结合主、客观权重,综合了主、客观的优缺点,得出组合赋权 $\alpha_j$ :

$$\alpha_j = aw'_j bw_j / \sum_{j=1}^4 aw'_j bw_j \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^4 \alpha_j = 1 \quad 0 \leq \alpha_j \leq 1 \quad a + b = 1$$

式中: $w'_j$ 为主观权重; $w_j$ 为客观权重; $a$ 为对主观权重重要性进行的赋权; $b$ 为对客观权重重要性进行的赋权。

## 1.6 确定削减指数 $\beta_i$

根据组合权重 $\alpha_j$ 和规范化数据 $x_{ij}$ 计算削减指数 $\beta_i$ 。

$$r_i = \sum_{j=1}^4 \alpha_j x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$\beta_i = nr_i / \sum_{i=1}^n r_i \quad (6)$$

$$W_{i\text{削}} = W\beta_i r \quad (7)$$

式中: $\beta_i$ 为削减指数; $W_{i\text{削}}$ 为 $i$ 地区最终削减量; $W$ 为地区污染物排放总量; $r$ 为国家对地区规定的计划削减比例。

## 2 实例分析

汉中市位于陕西省西南部,内有镇巴、留坝、勉

县、西乡、南郑、城固、宁强、洋县、佛坪、略阳 10 个县以及汉台区,总面积 27 246 km<sup>2</sup>,2010 年人口 380 万。汉中作为国家历史文化名城、中国优秀旅游城市、国家生态示范区建设试点地区和全国双拥模范城,生态环境一直受到重点关注和良好保护,但随着旅游业的发展,生态环境受到一定的威胁。汉中市位于汉江上游,是汉江的发源地,而汉江作为长江最大的支流,随着经济发展和南水北调中线工程的进展,对于汉中市的环境提出更高的要求。

笔者以汉中市各区域的水污染物总量分配为研究对象,研究汉中市的 11 个行政区的水污染物总量分配方案,为区域总量分配方案提供参考和借鉴。同时,参照《国民经济和社会发展规划“十二五”规划》,以总量削减比例 $r=10\%$ 为基准对汉中市各区域水污染物总量进行分配。

### 2.1 数据来源

根据水资源量、环境容量、人口和生产总值 4 项指标,汉中市 2010 年各区县指标数据具体见表 1。

表 1 汉中市 2010 年各区县指标数据

行政区	水资源量/ 亿 m <sup>3</sup>	环境 容量/t	人口/ 万人	生产总值/ 亿元	COD 排放量/t
汉台区	1.12	8 507.56	55.17	111.01	3 151.42
南郑县	23.52	124 503.21	55.39	73.72	5 924.67
城固县	8.67	48 100.25	52.91	77.53	8 101.20
洋县	13.81	88 652.79	44.46	49.23	7 597.46
西乡县	22.10	130 568.37	41.34	36.08	9 666.71
勉县	10.07	80 567.97	42.32	59.77	7 381.94
宁强县	17.36	110 497.97	33.40	32.05	3 466.49
略阳县	9.22	89 899.14	19.96	38.74	2 247.41
镇巴县	25.50	185 784.69	28.85	24.87	1 472.87
留坝县	6.78	68 897.37	4.41	5.78	504.84
佛坪县	5.95	70 035.69	3.30	3.23	301.73

数据来自于汉中市 2010 年环保局环境统计公报和统计年鉴。

### 2.2 主观权重

根据层次分析法原理,考虑水资源量、环境容量、人口和生产总值对水污染物总量分配量的重要性程度,对重要性程度进行排序。人口指标体现了分配的公平性原则,单位人口水污染物分配量具有公平性是必要的。生产总值指标表现了分配的效率性原则,只注重公平会忽视效率的重要性,不利于资源的优化配置,因此应重视效率的重要影响。鉴于环境容量大于 COD 排放量,环境容量尚有剩余,可以赋予较低的权重。最后,考虑到环境匹配性原则,水资源量与水污染物分配密切相关,但由于水资源量更多的专注点在于水权,对于污染物排放的重要性程度在 4 个指标中置后,因此给予其较低的权重。水资源量、环境容量、人口、生产总值的具体赋值为 0.1、0.1、0.4、0.4。同时考虑到主观权重与客观权重的作用不同,对主观权重赋权,取 $a=0.4$ 。

## 2.3 熵值法赋权

a. 采用正向指标的方法对原始数据进行规范化处理,使异质指标同质化,根据式(1)得到规范化处理结果(表2)。

表2 规范化处理结果

行政区	水资源量	环境容量	人口	生产总值
汉台区	0	0	1	1
南郑县	0.92	0.65	1	0.65
城固县	0.31	0.22	0.95	0.69
洋县	0.52	0.45	0.79	0.43
西乡县	0.86	0.69	0.73	0.3
勉县	0.37	0.41	0.75	0.52
宁强县	0.67	0.58	0.58	0.27
略阳县	0.33	0.46	0.32	0.33
镇巴县	1	1	0.49	0.2
留坝县	0.23	0.34	0.02	0.02
佛坪县	0.2	0.35	0	0

b. 根据规范化数据和熵权法计算指标的熵值  $e_j$  和熵权  $w_j$ ,同时对客观权重对污染物分配量的影响作用赋权,取  $b=0.6$ ,得到组合权重  $\alpha_j$ ,具体如表3。

表3 指标客观权重处理结果

	水资源量	环境容量	人口	生产总值
$e_j$	0.910	0.920	0.910	0.880
$w_j$	0.240	0.210	0.240	0.310
$0.6w_j$	0.144	0.126	0.144	0.186
$\alpha_j$	0.090	0.080	0.360	0.470

c. 根据式(5)~(7),计算汉中市各地区削减指数  $\beta_i$  和最终削减量  $W_{\text{削}}$ ,结合《国民经济和社会发展规划“十二五”规划》中总量削减比例10%的要求计算,结果见表4。

表4 水污染物总量分配结果

行政区	COD 排放量/t	$\beta_i$	$W_{\text{削}}/t$	最终分配量/t
汉台区	3151.42	1.70	536.8	2614.62
南郑县	5924.67	1.64	973.07	4951.60
城固县	8101.20	1.46	1183.41	6917.79
洋县	7597.46	1.17	887.64	6709.82
西乡县	9666.71	1.10	1064.13	8602.58
勉县	7381.94	1.19	879.43	6502.51
宁强县	3466.49	0.91	314.73	3151.76
略阳县	2247.41	0.69	155.34	2092.07
镇巴县	1472.87	0.90	133.12	1339.75
留坝县	504.84	0.13	6.68	498.16
佛坪县	301.73	0.09	2.85	298.88

以《国民经济和社会发展规划“十二五”规划》中总量削减10%为参考,文中计算的总量削减比例为12.3%,略大于10%的削减要求,符合国家提出的环保要求。同时根据各地区的现状,基于公平与效率原则,提出了不同的削减要求,有利于汉中市走经济发展与环境保护相协调的道路,发展生态文明。

## 3 结语

基于公平和效率角度,结合主客观权重对目标

指标组合赋权,再根据国家污染物削减要求,对汉中市各地区污染物总量进行分配。结果表明,各地区分配量与地区现状相匹配,污染物削减比例也满足国家政策要求,有利于国家生态文明建设和汉中市生态环境保护,同时为污染物削减方案提供借鉴。

## 参考文献:

- [1] DONALD H B, BARBARA J L. Comparison of optimization formulations for waste-load allocations [J]. Journal of Environmental Engineering, 1992, 118(4): 597-612.
- [2] BURN D H, YULIANTI J S. Waste load allocation using genetic algorithms [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2001, 127(2): 121-129.
- [3] GRAHN S, VOORNEVELD M. Population monotonic allocation schemes in bankruptcy games [J]. Annals of Operations Research, 2002, 109(1-4): 317-329.
- [4] 杨玉峰,傅国伟. 区域差异与国家污染物排放总量控制 [J]. 环境科学学报, 2001, 21(2): 129-133. (YANG Yufeng, FU Guowei. Total pollution load distribution at national level and the regional diversity [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2001, 21(2): 129-133. (in Chinese))
- [5] 青彩华. 基于污染减排的水体污染物排放总量分配方法研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2013.
- [6] 宋春华. 主要污染物初始排污权分配方法研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [7] 李如忠, 钱家忠, 汪家权. 水污染物允许排放总量分配方法研究 [J]. 水利学报, 2003, 34(5): 112-115. (LI Ruzhong, QIAN Jiazhong, WANG Jiaquan. Study on distribution of total amount of drainage water pollutant in a region [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003, 34(5): 112-115. (in Chinese))
- [8] 陈文彬, 龚代圣. 基于 AHP 熵权法的信息化厂商评价模型及应用 [J]. 现代电子技术, 2012(12): 101-106. (CHEN Wenbin, GONG Daisheng. Informatization vendor evaluation model based on AHP entropy method [J]. Modern Electronics Technique, 2012(12): 101-106. (in Chinese))
- [9] 韩信, 冷雪, 郑宗剑, 等. 基于层次分析法和熵权法的高校奖学金评定 [J]. 科技和产业, 2012, 12(11): 90-93. (HAN Xin, LENG Xue, ZHENG Zongjian, et al. Evaluating college students' scholarship based on AHP and entropy method [J]. Science Technology and Industry, 2012, 12(11): 90-93. (in Chinese))
- [10] 梁富山. 基于层次分析法和熵权法的税收风险管理 [J]. 广西财经学院院报, 2014, 27(2): 34-42. (LIANG Fushan. Tax risk management based on the analytic hierarchy process and entropy method [J]. Journal of Guangxi University of Finance and Economics, 2014, 27(2): 34-42. (in Chinese))

(下转第 178 页)

2005 (5):21-23. (in Chinese))

- [9] 王浩,秦大庸,王建华. 黄淮海流域水资源合理配置研究[M]. 北京:科学出版社,2003:6-8.
- [10] 游进军,甘泓,王浩. 水资源配置模型研究现状与展望[J]. 水资源与水工程学报,2005,16(3):1-5. (YOU

Jinjun, GAN Hong, WANG Hao. Advance in water allocation model and prospect [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2005, 16 (3) :1-5. (in Chinese))

(收稿日期:2014-12-01 编辑:彭桃英)

(上接第 157 页)

- [7] 黄华坚. 果壳活性炭吸附水体中邻苯二甲酸二丁酯的研究:平衡、动力学和热力学[D]. 广州:华南师范大学,2010.
- [8] 张鹏伟,王郑,余丹,等. 银杏叶粉末活性炭对水中 DBP 的吸附效能与机理[J]. 湖北农业科学,2013,52(10):2293. (ZHANG Pengwei, WANG Zheng, YU Dan, et al. Adsorption performance and mechanism of ginkgo leaves powder acticarbon on DBP in water [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2013, 52 (10) : 2293. (in Chinese))
- [9] 胡涛,钱运华,金叶玲,等. 凹凸棒土的应用研究[J]. 中国矿业,2005,14(10):73-76. (HU Tao, QIAN Yunhua, JIN Yeling, et al. Study on the application of attapulgite clay [J]. China Mining Magazine, 2005, 14 (10):73-76. (in Chinese))
- [10] 陈天虎. 改性凹凸棒土黏土吸附对比实验研究[J]. 非金属矿,2005,23(3):11-12. (CHEN Tianhu. Adsorption of modified attapulgite clay contrast experiment [J]. Non-Metallic Mines, 2005, 23 (3) :11-12. (in Chinese))
- [11] 王学江,张全兴,李爱民,等. NDA-100 大孔树脂对水溶液中水杨酸的吸附行为研究[J]. 环境科学学报,2002,22(5):658-660. (WANG Xuejiang, ZHANG Quanxing, LI Aimin, et al. Adsorption of salicylic acid from aqueous solution by NDA-100 macroporous resin

[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2002,22(5):658-660. (in Chinese))

- [12] 王穆君,孙越,周玮,等. 大孔树脂对水溶液中邻苯二甲酸的吸附行为及其热力学研究[J]. 离子交换与吸附,2004,20(6):533-540. (WANG Mujun, SUN Yue, ZHOU Wei, et al. Study on thermodynamic properties for adsorption of o-phthalic acid from aqueous solution by macroporous resin [J]. Ion Exchange and Adsorption, 2004, 20(6):533-540. (in Chinese))
- [13] 严伟峰,呼晓明,陈英文,等. 阳离子交换树脂对  $\text{NH}_4^+$  的吸附热力学与动力学研究[J]. 环境污染与防治,2012,34(10):11-19. (YAN Weifeng, HU Xiaoming, CHEN Yingwen, et al. Investigation on kinetics and thermodynamics of removal of  $\text{NH}_4^+$  adsorption on exchange resin [J]. Environmental Pollution & Control, 2012, 34 (10):11-19. (in Chinese))
- [14] 于鲁冀,吴小宁,梁亦欣,等. NDA-66 树脂对邻苯二甲酸的吸附及脱附性能[J]. 化工环保,2014,34(1):1-4. (YU Luji, WU Xiaoning, LIANG Yixin, et al. Adsorption and desorption of o-phthalic acid on resin NDA-66 [J]. Environmental Protection of Chemical Industry, 2014, 34(1):1-4. (in Chinese))
- [15] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002.

(收稿日期:2015-01-16 编辑:彭桃英)

(上接第 173 页)

- [11] 王有乐. 区域水污染控制多目标组合规划模型研究[J]. 环境科学学报,2002,22(1):107-110. (WANG Youle. Study on the multi-purposes combination planning model of regional water pollution control [J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2002,22(1):107-110. (in Chinese))
- [12] 林高松,李适宇,江峰. 基于公平区间的污染物允许排放量分配方法[J]. 水利学报,2006,37(1):52-57. (LIN Gaosong, LI Shiyu, JIANG Feng. Allocation method of allowable waste load in river based on the principle of equitable interval [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006,37(1):52-57. (in Chinese))
- [13] 盛虎,李娜,郭怀成. 流域容量总量分配及排污交易潜力分析 [J]. 环境科学学报,2010,30(3):655-662. (SHENG Hu, LI Na, GUO Huaicheng. Analysis of total amount allocation and emission trading potential in a watershed [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2010, 30

(3):655-662. (in Chinese))

(收稿日期:2015-03-04 编辑:徐娟)

