

# 基于熵值法的污染源区域排污量评价模型研究

吴铭程<sup>1</sup>,铁治欣<sup>1</sup>,丁成富<sup>2</sup>,崔仕文<sup>1</sup>

(1. 浙江理工大学信息学院,杭州 310018; 2. 聚光科技(杭州)股份有限公司,杭州 310052)

**摘要:**文章采用熵值法客观赋权的方式,以省或市辖区内的不同行政区域为待评行政区域,以待评行政区域内污染源企业日常排放的主要污染物为评价指标,设计了一个基于熵值法的污染源区域排污量评价模型。应用该模型对2014年某市辖区内各行政区域的6种主要污染物排放量进行评价分析,得出各行政区域的排污排名,该市将排名靠前的行政区域视为2015年重点减排区域进行严格的区域减排治理,取得了较好的治理效果。该模型为该市实现主要污染物总量减排目标提供有力的技术支持。

**关键词:**熵值法;区域排污量;主要污染源区域;总量减排

**中图分类号:** TP311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-3851(2016)04-0615-05 **引用页码:** 070603

## 0 引言

随着社会经济的持续发展和区域开发强度的不断加大,环境污染形势日益严峻,国家对环境保护、污染物排污治理和污染物总量减排等方面越来越重视。国务院办公厅关于印发2014—2015年节能减排低碳发展行动方案的通知<sup>[1]</sup>中明确提出了2014—2015年的工作目标是化学需氧量、二氧化硫、氨氮、氮氧化物等污染物排放量分别逐年下降2%、2%、2%、5%以上。如何更好地分析污染源企业排污情况,控制污染源企业的排污总量是目前亟待解决的重要问题。目前国家在环保领域的监测治理手段有限,大部分省市级环保部门的污染源监控中心管理平台只能实现对单个污染源企业的简单评价分析或警告功能,对于通过行政区域进行排污量评价分析的研究较少。杨雪景<sup>[2]</sup>设计的城市区域污染源(水质)在线监控和网络视频监控系统对不同区域的污水处理厂及部分水源加入视频监控功能进行在线监控;余辉等<sup>[3]</sup>设计了区域恶臭在线监控平台,实现了参数调整、超限报警和分级采样等功能,为研究恶臭扩散模型提供了依据。

如何对不同行政区域的排污量进行评价,明确各个行政区域的排污排名次序,指出排污量过高的行政区域,提前制定相应的区域减排治理措施,对实现省市级总量减排目标具有重要的意义。

熵值法是利用评价指标的固有信息来判别指标的效用价值,已得到广泛的应用。目前熵值法的应用领域大致可分为如下几类:a)环保领域。如刘慧卿等<sup>[4]</sup>将熵值法与属性识别模型相结合,建立基于熵权的属性识别模型来评价空气质量,避免了人为主观确定权重的随意性而使评价结果产生偏差;郑志宏等<sup>[5]</sup>将熵值法与集对分析法相结合进行水质综合评价,有效地解决了水质评价中赋权问题,并与灰色关联法得到的评价结果相比较,验证了熵值法与集对分析法相结合的可行性;Zou等<sup>[6]</sup>将熵值法应用于模糊综合评价方法中,对水质进行评价,实验结果表明,通过熵值法评价水质质量十分有效。b)金融领域。如肖振宇<sup>[7]</sup>运用熵值法对1980—2006年我国银行体系的稳定性程度进行研究,为我国银行体系脆弱性的监管决策提供一定的有益参考;许伟航<sup>[8]</sup>将熵值法与功效系数法相结合,从盈利能力、营

收稿日期:2015-09-14

基金项目:国家自然科学基金项目(61379036);浙江省自然科学基金项目(LY13F020043);浙江省公益技术应用研究项目(2014C31G2060072)

作者简介:吴铭程(1990—),男,江苏苏州人,硕士研究生,主要从事环保软件研发方面的研究。

通信作者:铁治欣,E-mail:tiezx@zstu.edu.cn

运能力、偿债能力、发展能力4个方面构建了一套财务风险预警体系,对太龙药业财务风险的预测与防范具有一定指导作用。c)城市领域。如李嘉等<sup>[9]</sup>运用熵值法研究城市人才吸引力和房地产泡沫之间的关系,研究结果表明,两者之间存在因果关系,通过现阶段对城市人才吸引力的判断,可预测未来城市房地产泡沫水平的变动情况;洪兆平<sup>[10]</sup>将因子分析法和改进的熵值法相结合,并运用 Kendall 协调系数 W 检验对两种方法的一致性进行检验,得出江苏省13个地级市的城市竞争力排行。d)工程领域。如 Qiu<sup>[11]</sup>将熵值法应用于信息工程管理领域,将信息理论和决策理论有效结合,为多因素决策提供支持;李龙等<sup>[12]</sup>建立了熵值法与多层次灰色评价方法相结合的地铁工程项目管理绩效评价模型,对某大型地铁工程项目管理绩效进行评价并验证了该评价方法的可行性。

本文设计了一个基于熵值法的污染源区域排污量评价模型,以省或市管辖的不同行政区域为排污量评估区域,以环保部门监管的污染源企业日常监测的主要污染物为评价指标,用本文设计的污染源在线监控系统中日常监测到的各个待评行政区域排放的主要污染物的真实监测数据作为数据样本,对各个行政区域的排污情况进行评价分析,对各个待评行政区域的排污量评价进行先后排序,为省市级环保部门和相关行政区域进行决策分析和制定相关减排治理措施提供决策依据。

## 1 熵值法的基本原理

熵原本是热力学概念,最先由香农(Shannon E)引入信息论,现已在工程技术、社会经济等领域得到十分广泛的应用。熵是系统状态不确定性的一种度量。应用熵可以度量评价指标体系中指标数据所蕴含的信息量,并依此确定各指标的权重。

假设有  $m$  个评估方案,  $n$  个评价指标,这样就形成了一个数据矩阵  $\mathbf{X}$ ,如式(1)所示。式中,  $x_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ ) 表示第  $i$  个评估方案的第  $j$  个评价指标的指标值。对于某项评价指标  $j$ , 指标值  $x_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 的差距越大,则该指标在综合评价中所起的作用越大,反之,则作用越小。如果所有评估方案中的某项指标的指标值均相等,则该指标在综合评价中不起作用。

$$\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

在信息论中,用信息熵  $H(x)$  来判断系统的无序程度,如式(2)所示。

$$H(x) = - \sum_{i=1}^m p(x_i) \ln p(x_i) \quad (2)$$

式(2)中:  $p(x_i)$  表示  $x_i$  指标对应评估方案的概率。信息熵与信息两者绝对值相等,符号相反。根据此性质,可以由多目决策评价中各待评方案的固有信息计算出各方案基于熵的相对异性量化评价指标,从而依此做出对各方案的评价。

熵值法(entropy method)根据各个指标的变异程度来确定指标权重,是一种客观赋权法。其客观性很好地避免了人为的随意性而造成的赋权偏差。在系统论中,信息量越大,不确定性就越小,熵也就越小,说明系统有序;反之,熵就越大,系统混乱。根据这一特性,可以用熵值来判断某个指标的离散程度,指标的离散程度越大,该指标对评价结果的影响越大。

## 2 污染源区域排污量评价模型

### 2.1 模型构建

根据熵值法的基本原理,以省或市辖区内的不同行政区域为排污量评估区域,以环保部门对污染源企业日常监测的主要污染物(如化学需氧量、氨氮、污水、烟尘、二氧化硫和氮氧化物等)为评价指标,对各个待评行政区域进行排污量评价分析,建立基于熵值法的区域排污量评价模型。设待评行政区域为  $m$  个,评价指标为  $n$  个,则污染源区域排污量评价模型就如式(3)所示。

$$s_i = \sum_{j=1}^n \omega_j p_{ij} \quad (3)$$

式(3)中:  $s_i$  表示第  $i$  个待评行政区域的评价值,  $s_i$  值越大,表示该待评行政区域的排污量较大,产生的污染较严重,视为重点减排区域,需要重点关注其排污状况;  $\omega_j$  是通过熵值法赋权获得的各个污染物的权重;  $p_{ij}$  是熵值法赋权过程中得到的第  $j$  个污染物在第  $i$  个待评行政区域的值占该污染物总和的比重。

### 2.2 模型计算步骤

#### 2.2.1 原始数据矩阵标准化处理

根据在各个待评行政区域中对污染源企业日常监测的主要污染物的排放量数据,建立原始污染物排放量数据矩阵  $\mathbf{Y}$ ,如式(4)所示。原始数据矩阵的标准化处理是进行熵值法赋权的第一步,由于在熵值法赋权的计算过程中会用到和对数相关的公式,因此负数和0值不能参与计算。本文采用式(5)对原始污染物排放量数据矩阵进行数据的标准化处理。

式(5)中: $y_{ij}$ 表示第*i*个待评行政区域第*j*个污染物的排放量; $y_{Hj}$ 表示所有待评行政区域的第*j*个污染物排放量的最大值,如式(6)所示; $y_{Lj}$ 表示所有待评行政区域的第*j*个污染物排放量的最小值,如式(7)所示。为避免在计算熵值时出现对数运算的无意义现象,令常数 $a=1$ ,即平移一个单位,此时 $x_{ij}$ 的范围为 $[1,2]$ 。这样就得到了标准化处理后的污染物排放量数据矩阵 $\mathbf{X}$ ,如式(1)所示。

$$\mathbf{Y} = (y_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - y_{Lj}}{y_{Hj} - y_{Lj}} + a \quad (5)$$

$$y_{Hj} = \max(y_{1j}, y_{2j}, \cdots, y_{mj}) \quad (6)$$

$$y_{Lj} = \min(y_{1j}, y_{2j}, \cdots, y_{mj}) \quad (7)$$

## 2.2.2 计算比重矩阵

对标准化处理后的污染物排放量数据矩阵 $\mathbf{X}$ ,计算第*j*个污染物在第*i*个待评行政区域的值占该污染物总和的比重 $p_{ij}$ ,如式(8)所示。各个待评行政区域的各个污染物比重组成了比重矩阵 $\mathbf{P}$ ,如式(9)所示。

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (8)$$

$$\mathbf{P} = (p_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

## 2.2.3 计算熵值

根据比重矩阵求得各个污染物的熵值 $e_j$ ,如式(10)所示。式中,常数 $k$ 与待评行政区域个数 $m$ 有关。为计算方便起见,一般令 $k=1/\ln m$ ,则有 $0 \leq e_j \leq 1$ 。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m (p_{ij} \ln p_{ij}) \quad (10)$$

## 2.2.4 计算差异性系数

根据各个污染物的熵值 $e_j$ 计算第*j*个污染物的差异性系数 $g_j$ ,如式(11)所示。差异性系数 $g_j$ 越大则表示污染物排放量 $x_{ij}$ 在污染源区域排污量综合评价中所起的重要性就越大,最终获取的权重也就越大。

$$g_j = 1 - e_j \quad (11)$$

## 2.2.5 计算权重

根据差异性系数 $g_j$ 即可求出各个污染物的权重 $\omega_j$ ,如式(12)所示。权重的大小反映了该污染物的产污力度。

$$\omega_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j} \quad (12)$$

## 2.2.6 计算评价值

根据各个污染物的权重 $\omega_j$ 和第*j*个污染物在第*i*个待评行政区域的值占该污染物总和的比重 $p_{ij}$ 求得各个待评行政区域的评价值 $s_i$ ,如式(3)所示。

# 3 应用实例

污染源在线监控系统是我们研发的一套将在线监控技术与信息化技术相结合的现代污染源监控系统。该系统实现了对省或市辖区内污染源企业排污的实时在线监测,同时具备断线报警、超标预警、远程控制、视频监控和数据共享等功能,使环保部门能及时、准确、全面地了解省或市辖区内的环境污染状况,为环境监管、污染评价、行政审批、总量分析、排污申报、环境治理、行政执法与决策提供有力支持。目前该系统已在多个省市级环保部门得到应用。

本例以某市2014年污染源在线监控系统中日常监测到的污染物监测数据作为数据样本,如表1所示。以化学需氧量、氨氮、污水、烟尘、二氧化硫和氮氧化物6种主要监测的污染物为评价指标,以该市内的10个行政区域为待评行政区域进行2014年该市污染源区域排污量评价分析。

表 1 各行政域 2014 年各污染物排放量

t

行政区域	化学需氧量	氨氮	污水	烟尘	二氧化硫	氮氧化物
行政区域 1	289.884	35.654	2379806.0	64.613	412.117	147.735
行政区域 2	96.070	7.122	4295730.0	483.874	1600.349	2156.224
行政区域 3	305.001	19.885	13689857.0	208.854	1495.528	1747.146
行政区域 4	92.195	3.281	3977895.8	16.350	185.542	56.992
行政区域 5	388.509	42.800	3359479.8	288.790	496.909	941.899
行政区域 6	931.146	85.430	9738517.0	210.746	1839.147	1564.375
行政区域 7	85.509	7.270	3839062.8	58.602	251.685	212.283
行政区域 8	928.871	86.005	6220623.0	693.396	4016.845	4318.848
行政区域 9	36.185	1.288	1915174.9	69.474	622.113	696.071
行政区域 10	345.297	16.233	11388738.0	365.160	6326.482	1411.789

由式(5)对表1构成的原始污染物排放量数据矩阵进行标准化处理,得到污染物排放量数据矩阵 $\mathbf{X}$ ,如式(13)所示。根据污染物排放量数据矩阵 $\mathbf{X}$ 和式(8),求得比重矩阵 $\mathbf{P}$ ,如式(14)所示。接着,根据比重矩阵 $\mathbf{P}$ 和式(10),求得各个污染

物的熵值 $e_j$ ,如表2所示。再根据表2中的熵值和式(11),求得各个污染物的差异性系数 $g_j$ ,如表3所示。再根据表3中各污染物的差异性系数和式(12),求得各个污染物的权重 $\omega_j$ ,如表4所示。

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1.28347492 & 1.40565648 & 1.03946018 & 1.07128467 & 1.03689582 & 1.02129190 \\ 1.06691353 & 1.06886457 & 1.20217574 & 1.69053506 & 1.23038932 & 1.49256286 \\ 1.30036616 & 1.21951910 & 2.00000000 & 1.28432928 & 1.21332011 & 1.39657698 \\ 1.06258373 & 1.02352538 & 1.17518273 & 1.00000000 & 1.00000000 & 1.00000000 \\ 1.39367526 & 1.49000791 & 1.12266190 & 1.40239511 & 1.05070348 & 1.20763419 \\ 2.00000000 & 1.99321270 & 1.66442066 & 1.28712377 & 1.26927555 & 1.35369168 \\ 1.05511302 & 1.07061157 & 1.16339192 & 1.06240639 & 1.01077083 & 1.03643741 \\ 1.99745799 & 2.00000000 & 1.36565302 & 2.00000000 & 1.62389520 & 2.00000000 \\ 1.00000000 & 1.00000000 & 1.00000000 & 1.07846439 & 1.07109188 & 1.14995321 \\ 1.34539159 & 1.17641087 & 1.80757060 & 1.51519395 & 2.00000000 & 1.31788897 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 0.09503718 & 0.10452681 & 0.07678367 & 0.07999597 & 0.08290960 & 0.07870599 \\ 0.07900151 & 0.07948243 & 0.08880327 & 0.12623722 & 0.09838123 & 0.11502455 \\ 0.09628793 & 0.09068534 & 0.14773758 & 0.09590464 & 0.09701639 & 0.10762739 \\ 0.07868090 & 0.07611094 & 0.08680933 & 0.07467294 & 0.07995943 & 0.07706513 \\ 0.10319717 & 0.11079931 & 0.08292968 & 0.10472096 & 0.08401365 & 0.09306649 \\ 0.14809356 & 0.14821840 & 0.12294874 & 0.09611331 & 0.10149055 & 0.10432243 \\ 0.07812772 & 0.07961234 & 0.08593835 & 0.07933300 & 0.08082066 & 0.07987318 \\ 0.14790533 & 0.14872312 & 0.10087914 & 0.14934587 & 0.12984574 & 0.15413026 \\ 0.07404678 & 0.07436156 & 0.07386879 & 0.08053210 & 0.08564390 & 0.08862129 \\ 0.09962191 & 0.08747975 & 0.13330145 & 0.11314398 & 0.15991886 & 0.10156329 \end{bmatrix} \quad (14)$$

表2 各污染物的熵值

污染物	化学需氧量	氨氮	污水	烟尘	二氧化硫	氮氧化物
熵值	0.98635694	0.98542046	0.98774021	0.98921629	0.98809472	0.99026440

表3 各污染物的差异性系数

污染物	化学需氧量	氨氮	污水	烟尘	二氧化硫	氮氧化物
差异性系数	0.01364306	0.01457954	0.01225979	0.01078371	0.01190528	0.00973560

表4 各污染物的权重

污染物	化学需氧量	氨氮	污水	烟尘	二氧化硫	氮氧化物
权重	0.18712968	0.19997454	0.16815660	0.14791053	0.16329410	0.13353453

最后,根据上述求得的各个污染物的权重 $\omega_j$ 和比重矩阵 $\mathbf{P}$ ,由式(3)求得10个行政区域的排污量评价,如表5所示。10个行政区域排污排名由前到后分别为行政区域8、行政区域6、行政区域10、行政区域3、行政区域5、行政区域2、行政区域1、行政区域7、行政区域4和行政区域9。排名靠前的行政区域8和行政区域6视为该市2015年重点减排区域,需要环保部门决策人员特别重视,及时制定相关区域减排治理措施,制止该区域排污上升的势头。通过对各个行政区域的排污量评价分析,有效地控制了该市2015年重点减排区域截止目前为

表5 各行政区域排污量评价和排污排名

行政区域	排污量评价	排污排名
行政区域1	0.08747952	7
行政区域2	0.09570748	6
行政区域3	0.10539562	4
行政区域4	0.07893401	9
行政区域5	0.09704932	5
行政区域6	0.12274687	2
行政区域7	0.08058911	8
行政区域8	0.13825639	1
行政区域9	0.07887899	10
行政区域10	0.11496266	3

止的排污产量,污染源企业偷排漏排现象也逐渐减少了。由此可见,污染源区域排污量评价模型为污染源企业排污监督起到了一定的指导作用,为环保决策人员提供了良好的减排分析渠道,对实现总量减排目标具有非常重要的意义。

## 4 结 语

本文设计了一个污染源区域排污量评价模型,通过熵值法客观赋权的方式,为环保部门监管的污染源企业日常监测的主要污染物赋权,用于评价各个行政区域的排污情况。通过以某市2014年化学需氧量、氨氮、污水、烟尘、二氧化硫和氮氧化物6种主要污染物的年排放量为数据样本,分析评价了该市环保部门监管的10个行政区域的排污情况,将排名靠前的行政区域在2015年作为重点减排区域进行减排治理,取得了较好的减排效果。将污染源区域排污量评价模型用于环保部门决策分析,有效控制环保部门监控区域下的排污上升趋势,为决策人员的决策和环境保护提供了有力的支持。

## 参考文献:

- [1] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发2014—2015年节能减排低碳发展行动方案的通知[EB/OL]. [2014-05-26]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-05/26/content\\_8824.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-05/26/content_8824.htm).
- [2] 杨雪景. 城市区域污染源(水质)在线监控和网络视频监控系统设计[D]. 武汉:湖北工业大学,2011.
- [3] 余辉,李金航,王元刚. 区域恶臭在线监控平台设计与实现[J]. 计算机应用,2013,33(7):2071-2073.
- [4] 刘慧卿,张先起. 空气质量综合评价的基于熵权的属性识别模型[J]. 环境科学与技术,2008,31(7):141-143.
- [5] 郑志宏,魏明华. 基于熵值法的改进集对分析水质模糊评价[J]. 河海大学学报(自然科学版),2013,41(2):136-139.
- [6] ZOU Z H, YI Y, SUN J N. Entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment [J]. Journal of Environmental Sciences, 2006, 18(5): 1020 - 1023.
- [7] 肖振宇. 基于熵值法我国银行体系脆弱性的评价[J]. 华东经济管理,2008,22(11):78-84.
- [8] 许祎航. 基于熵值法与功效系数法的太龙药业财务风险预警研究[D]. 长沙:湖南大学,2014.
- [9] 李嘉,刘渝渝. 基于熵值法的城市人才吸引力与房地产泡沫相关性的实证研究[J]. 北京邮电大学学报(社会科学版),2013,15(4):82-89.
- [10] 洪兆平. 基于因子分析法和改进熵值法的城市竞争力综合评价研究:以江苏省为例[J]. 科技管理研究,2012,32(21):47-50.
- [11] QIU W H. Multi-factors decision-making entropy method and its application in engineering management [J]. Engineering Sciences, 2010, 8(4): 74-79.
- [12] 李龙,赵金先,李帆. 基于熵法与灰色理论的地铁工程项目管理绩效评价[J]. 青岛理工大学学报,2014(3):50-55.

# Research on Pollution Emission Evaluation Capacity Model for Pollution Source Area Based on Entropy Method

WU Mingcheng<sup>1</sup>, TIE Zhixin<sup>1</sup>, DING Chengfu<sup>2</sup>, CUI Shiwen<sup>1</sup>

(1. School of Information Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Focused Photonics (Hangzhou) Co., Ltd., Hangzhou 310052, China)

**Abstract:** A pollution emission evaluation capacity model for pollution source area based on entropy method is designed by adopting objective empowerment of entropy method, taking different administrative area in the province or municipal district as the administrative region to be evaluated and regarding main pollutants discharged by pollution source enterprises in the administrative region to be evaluated. The model is employed to analyze the total emission amount of six kinds of major pollutants in each administrative region in a city in 2014, and pollution ranking of each administration region is gained. The top-ranking administrative regions are regarded as the key pollutant emission areas in 2015 where the pollution emissions should be strictly controlled, and a better effect of governance is achieved. The model provides strong technical analysis support for the city to achieve total emission reduction objective of major pollutants.

**Key words:** entropy method; regional emission capacity; key pollution source area; total emission reduction

(责任编辑:陈和榜)