

文章编号:1673-9469(2015)02-0073-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2015.02.018

## 生态-水网系统关键影响因子识别研究

李树文,龙亚会,马宁,姜琦,常向萍

(河北工程大学 城市建设学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**针对单独使用层次分析法易出现主观判断的局限性,以及使用熵值法易出现偏离真实的可能性,提出了联合层次分析法和熵值法两种方法构建一种新的评价模型,来对生态-水网复合系统的指标权重进行量化。即在层次分析法计算权重后,使用熵值法对指标权重进行计算,然后根据二者的综合函数确定权重。与单独采用层次分析法和熵值法相比,层次分析法和熵值法结合对生态-水网复合系统指标进行了主观与客观相结合的量化,降低了数据在分类和识别中的识误率和拒识率,使结果更具客观性和合理性。并利用河北省的生态、水网数据,分析了2008-2012年生态、水网两个子系统,计算得出了生态-水网复合系统中十个指标的权重,为复合系统的耦合模拟乃至评价管理奠定了基础。

**关键词:**层次分析法;熵值法;生态-水网;复合系统;指标量化

**中图分类号:**X826

**文献标识码:**A

### AHP - entropy value method of indexes quantification and its application in eco - water network composite system

LI Shu - wen, LONG Ya - hui, MA Ning, JIANG Qi, CHANG Xiang - ping

(College of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, china)

**Abstract:** In simulation or evaluation of composite systems, the choice and quantification of indexes are key contents. A new evaluation model was put forward to quantify the indexes weights of Eco - water network composite system by uniting AHP and entropy value method, the model avoided the subjective in using analytic hierarchy process (AHP) and partial in using entropy value method separately. That is the indexes weights were calculated by AHP and entropy value method respectively firstly, and then the weights were determined by according to comprehensive function. The alliance of AHP and entropy value method can be regarded as the combination of subjective and objective method. It reduced the error rate and false reject rate in the process of data classification and identification, compared with using AHP and entropy value method individually, the alliance method makes the results more objective and reasonable in the index quantification of Eco - water network composite system. Based on the ecology, water network data from 2008 to 2012 in Hebei province, the two sub - systems including ecology and water network system were analyzed, and the ten indexes weights of the composite system were calculated. It lays the foundation for coupling simulation, evaluation and management of the composite system.

**Key words:** analytic hierarchy process (AHP); entropy value method; eco - water network; composite system; index quantification

层次分析法于20世纪70年代末由美国运筹学家 Satty T. L. 提出后,理论研究与应用都得到了

快速的发展,衍生出改进层次分析法、模糊层次分析法、可拓层次分析法和灰色层次分析法等多种

收稿日期:2014-12-10

基金项目:河北省应用基础研究计划重点基础研究项目(项目编号:14964206D-5)

作者简介:李树文(1955-),男,教授,博士,从事水文水资源方面的研究。

方法,应用于安全科学、环境科学等多种领域。近年来,为降低层次分析法中的主观影响,学者们将其与其它决策方法联合应用于多种领域,取得了很多的研究成果。如与灰关联理论,模糊数学等的联合使用。

生态-水网系统是一个多元素、多介质、多维度的开放性复合系统,其复杂性和多样性决定了指标选择和量化的困难性。为降低复合系统中指标设置的随意性和冗余性,提高复合系统耦合模拟、管理评价的高效性,本文选择了层次分析法和熵值法联合使用对生态-水网复合系统指标进行综合量化。

## 1 评价方法简介

对于复合系统的指标量化,选取合适的方法是十分关键的,方法不同有可能导致评价结果不同。因此,应以科学的方法对所选指标进行量化。量化的方法分为主观型和客观型两大类:主观型是根据决策者对各项指标的主观判断来赋权,如 Delphi 法、层次分析法等;客观型是依据客观信息进行赋权,如熵值法、CRITIC 法等。本文采用主观和客观相结合的方式,也就是应用层次分析法和熵值法组合量化来评价复合系统的十项指标。

### 1.1 层次分析法

层次分析法(简称 AHP)是一种定量分析和定性分析相结合的无结构的多准则决策方法<sup>[1]</sup>。通过对复杂事物逐级分解简化后对事物进行综合分析。具体方法如下:

建立层次结构模型及判断矩阵,对生态-水网系统进行综合评价,故目标层为生态-水网系统 A。通过结构模型利用重要性标度法构造出判断矩阵 A:

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \Lambda & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \Lambda & w_2/w_n \\ \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \Lambda & w_n/w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \Lambda & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \Lambda & a_{2n} \\ \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda \\ a_{n1} & a_{n2} & \Lambda & 1 \end{bmatrix}$$

进行层次单排序及一致性检验。计算判断矩阵的权重向量  $\bar{W}$ 、最大特征值  $\lambda_m$ 、CR 值,若  $CR \leq 0.1$ ,则认为矩阵的不一致性可以接受。

计算具体因子层对总目标层的总排序。根据

$$\text{公式 } CR = \frac{\sum_{j=1}^m a_j CR_j}{\sum_{j=1}^m a_j RI_j}$$

计算出生态、水网各指标值对生态-水网系统的排序值(权值),并对层次总排序进行一致性检验<sup>[2]</sup>。

### 1.2 熵值法

熵值法根据数据的无序程度确定权重。在信息论中,信息熵值越大,信息的无序度越高,其信息的效用值越小<sup>[3]</sup>。进行指标量化的计算步骤如下。

(1)构建数据矩阵。构造由研究年数(m)和指标(n)组合的原始数据矩阵  $C = [C_{ij}] (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n)$ ,  $C_{ij}$  为第 i 个样本,第 j 项指标值。

(2)对原始数据进行无量纲化处理,得到无量纲化数据矩阵  $Y = [Y_{ij}]$ 。

(3)信息熵值  $e_j$  和信息效用值  $d_j$ 。第 j 项指标信息熵  $e_j$  的值:  $e_j = -k \sum_{i=1}^n y_{ij} \ln y_{ij}$ , 式中的 k 与系统中的 m 有关,  $k = 1/1n m, 0 \leq e \leq 1$ 。当一个信息系统是无序状态时,  $e = 1$ , 此时  $e_i$  对总和评价的效用值为 0。则某项指标的信息效用值  $d_j$  取决于该指标的信息熵  $e_j$  与 1 的差值,即:  $d_j = 1 - e_i$ 。

(4)指标权重的确定。评价指标的价值系数越高,对评价的重要性越大,其对应的权重也越高。因此,第 j 项指标的权重为  $w_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j$ 。

### 1.3 综合评价模型的建立

熵权是客观的权重,体现了在决策的客观信息中指标的评价作用大小。而层次分析法是决策过程中主观的权重,反映了决策者对决策指标的偏好。综合权重的计算步骤如下。

通过层次分析法得到 m 个指标的主观权重 ( $\theta_i$ )。通过熵值法计算熵权 ( $\omega_i$ )。按照公式  $\lambda_i = \frac{\theta_i \omega_i}{\sum_{j=1}^m \theta_j \omega_j} (0 \leq \lambda_i \leq 1, \sum_{j=1}^m \lambda_i = 1)$  计算综合权重<sup>[4]</sup>。

## 2 案例应用

以河北省为例,分析 2008-2012 年生态-水网复合系统,具体步骤为以下 4 个主要方面:选择评价指标,进行原始数据整理,指标数据处理,权重求解。

### 2.1 评价指标选择

根据河北省的生态特征选择生态丰富指数、植被覆盖率,水网密度指数,土地退化指数,污染负荷指数等五个指标对生态质量进行评价。根据水环境主要面临的问题:水资源严重缺乏、地表水明显减少、地下水严重超采,以及水污染严重,将水网系统的指标设定为人均水资源量,总体水质级别,地下水开采率,垃圾无害率,年平均降水量等五个指标。具体指标体系如表1。

表1 河北省生态-水网复合系统指标体系

Tab.1 Index system of ecological - water network complex system in Hebei province

目标层	系统层	指标层
生态   水网 复合 系统	生态 系统	生态丰富指数
		植被覆盖指数
		水网密度指数
		土地退化指数
		污染负荷指数
	水网 系统	人均水资源量
		总体水质级别
		地下水开采率
		垃圾无害率
		年平均降水量

### 2.2 指标数据处理

本案例的数据来源为《河北省环境状况公报》(2008-2012年)。

生态系统中的5个指标值依据《生态环境状况评价技术规范(试行 HJ/T192-2006)》<sup>[5]</sup>进行计算。

表2 河北省生态-水网系统指标值

Tab.2 parameter values of ecological - water network system in Hebei province

生态 指标	生态丰 富指数	植被覆 盖指数	水网密 度指数	土地退 化指数	污染负 荷指数
指标值	94.00	108.17	19.03	7.48	99.78
水网 指标	人均水 资源量	总体水 质级别	地下水 开采率	垃圾无 害率	年平均 降水量
指标值	15.90	50.00	67.55	80.85	42.58

在水网系统中选取对数函数数学模型  $y = a + b \times 1g x$  对5个指标进行无量纲化处理<sup>[6]</sup>。

### 2.3 权重计算

层次分析法指标权重计算。根据河北省生态-水网质量综合评价层次结构模型,层次之间 A-B、B<sub>1</sub>-C、B<sub>2</sub>-C 的判断矩阵分别见表3,表4,表5;各判断矩阵及计算结果见表6,C层对于A层的权重计算见表7。

熵值法计算指标权重。根据熵值法计算指标权重的步骤,分别求出信息熵值,信息效用值,最后确定指标权重。具体数值见表8。

综合权重计算。根据表7中层次分析法得到指标的主观权重( $\theta_i$ )以及表8中熵值法得到的熵

权( $\omega_i$ ),按照公式  $\lambda_i = \frac{\theta_i \omega_i}{\sum_{j=1}^m \theta_j \omega_j}$  计算综合权重。

表3 A-B比较判断矩阵

Tab.3 A - B comparative judgment matrix

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
B <sub>1</sub>	1	1
B <sub>2</sub>	1	1

表4 B1-C比较判断矩阵

Tab.4 B1 - C comparative judgment matrix

B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
C <sub>1</sub>	1	3	5	7	9
C <sub>2</sub>	1/3	1	3	5	7
C <sub>3</sub>	1/5	1/3	1	3	5
C <sub>4</sub>	1/7	1/5	1/3	1	3
C <sub>5</sub>	1/9	1/7	1/5	1/3	1

表5 B2-C比较判断矩阵

Tab.5 B2 - C comparative judgment matrix

B <sub>2</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>
C <sub>6</sub>	1	1/5	3	5	1/3
C <sub>7</sub>	5	1	7	9	3
C <sub>8</sub>	1/3	1/7	1	3	1/5
C <sub>9</sub>	1/5	1/9	1/3	1	1/7
C <sub>10</sub>	3	1/3	5	7	1

表6 层次单排序表

Tab.6 Table of single sorting level

判断矩阵	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	CI	RI	CR	一致性检验
A-B	0.5	0.5				0	0		满意一致性
B1-C	0.436	0.285	0.166	0.081	0.031	0.089	1.12	0.079	满意一致性
B2-C	0.166	0.436	0.081	0.031	0.285	0.091	1.12	0.081	满意一致性

表7 基于 AHP 的指标权重值

Tab.7 Table of index weight based on the AHP

编号	评价指标	权重值	编号	评价指标	权重值
C <sub>1</sub>	生物丰度指数	0.218	C <sub>6</sub>	人均水资源量	0.083
C <sub>2</sub>	水网密度指数	0.143	C <sub>7</sub>	总体水质级别	0.218
C <sub>3</sub>	植物覆盖指数	0.083	C <sub>8</sub>	地下水开采率	0.041
C <sub>4</sub>	土地退化指数	0.041	C <sub>9</sub>	垃圾无害率	0.015
C <sub>5</sub>	污染负荷指数	0.015	C <sub>10</sub>	年平均降水量	0.143

表8 基于熵值法的指标权重计算表

Tab.8 Table of index weight calculation based on the entropy value method

指标名称	信息熵值	信息效用值	指标权重
生态丰富指数	-265.341 28	266.341 275 2	0.170 141
植被覆盖指数	-314.790 81	315.790 812 8	0.201 729
水网密度指数	-34.833 712	35.833 712 45	0.022 891
土地退化指数	-9.3520 236	10.352 023 57	0.006 613
污染负荷指数	-285.36 927	286.369 270 7	0.182 935
人均水资源量	-27.469 569	28.469 569 16	0.018 187
总体水质级别	-121.53 383	122.533 827 9	0.078 275
地下水开采率	-176.81 902	177.819 022 1	0.113 592
垃圾无害率	-220.66 173	221.661 729 4	0.141 599
年平均降水量	-99.248 289	100.248 288 8	0.064 039
合计		1565.419 532	1

### 3 结论

1) 生态丰富指数、植被覆盖率、总体水质级别等3个指标对复合系统的影响最大,这对河北省的生态—水网复合系统的评价和治理起到了一定的借鉴作用。

2) 本文构建的指标量化流程以及 AHP - 熵值法模型可以保证在指标完备的基础上,优化指标数,减少指标干扰,量化指标,可为后续的复合系统的耦合模拟以及管理评价奠定良好基础。

#### 参考文献:

[1] 宋新山, 邓伟. 环境数学模型[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

[2] 李 恺. 层次分析法在生态环境综合评价中的应用[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(2): 183 - 185.

[3] 马建琴, 郭晶晶, 赵 鹏. 基于主成分分析和熵值法的景观水水质评价[J]. 人民黄河, 2012, 34(3): 36 - 38.

[4] 韦新良, 马 俊, 刘恩斌, 等. 生态景观林树种选择适宜性评价技术研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(6): 207 - 212.

[5] HJ/T192-2006, 生态环境状况评价技术规范(试行)[S].

[6] 赵庆建. 河北省水环境安全评价体系及水资源可持续利用技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.

[7] 王 月, 李东亮. 基于层次分析法的采石场生态恢复植物选择[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2013, 30(03): 96 - 99.

(责任编辑 刘存英)

(上接第 68 页)

[3] 黄新元, 史月涛, 孙奉仲, 等. 670t/h 锅炉增设低压省煤器降低排烟温度的实践[J]. 中国电力, 2008, 41(6): 55 - 58.

[4] 黄新元, 史月涛, 孙奉仲. 火电厂热系统增设低压省煤器的节能效果[J]. 热力发电, 2008, 37(3): 56 - 58.

[5] 赵海波, 郑楚光. 单区静电除尘器捕集烟尘过程的数值模拟[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(2): 31 - 35.

[6] 仇中柱, 潘卫国, 李 芑, 等. 数值模拟与模化电除尘器改造中的应用[J]. 华东电力, 2010, 38(6): 927 - 930.

[7] 张 燕. 加装低温省煤器后锅炉尾部 90° 弯道流场的数值模拟[J]. 节能, 2013(2): 34 - 37.

[8] 王为术, 路 统, 陈 刚, 等. 电除尘区低温省煤器烟道导流优化的数值模拟[J]. 华北水利水电大学学报: 自然科学版, 2014, 35(4): 57 - 60.

[9] 刘 明, 孟桂祥, 严俊杰, 等. 火电厂除尘器前烟道流场性能诊断与优化[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(11): 1 - 6.

[10] 常瑞敏, 熊红彦, 舒佳慧. 基于生态理念的鹤壁市鹤淇产业集聚区规划研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2013, 30(2): 42 - 46.

(责任编辑 王利君)