DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.01.002

基于区间型逼近理想点法的水环境安全评价

潘 俊[1],李虹雪[1],李常虹[2]

(1.沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168;2.沈阳水务集团,辽宁 沈阳 110002)

摘要:水环境安全评价指标往往存在于某一范围,为了更准确地评价某地区的水环境安全,尝试将不确定多属性决策方法中的区间数方法用于水环境安全评价。通过构建水环境安全评价指标体系以及水环境安全等级各指标的区间数,采用区间型逼近理想点法对评价区水环境安全程度进行评价,并用此方法对沈阳经济开发区进行水环境安全评价。结果表明该区未来5~10 a的水环境安全状况将会逐渐改善。

关键词:水环境安全;区间数;区间型逼近理想点法;指标体系

中图分类号:X24 **文献标志码**:A **文章编号**:1004-6933(2013)01-0006-04

Water environmental security evaluation based on interval-type TOPSIS method

PAN Jun[1], **LI Hongxue**[1], **LI Changhong**[2]

(1. *Municipal and Environmental Engineering College*, *Shenyang Jianzhu University*, *Shenyang* 110168, *China*; 2. *Shenyang Water Affairs Group Co.*, *Ltd.*, *Shenyang* 110002, *China*)

Abstract: The evaluation indices of water environmental security are commonly presented as a range rather than a value, so it is more appropriate to evaluate them using the interval number method. This study attempts to use the interval-type TOPSIS method to evaluate the water environmental security of a certain area through establishing an evaluation index system of water environmental security and constructing the interval number of the indices of the security levels. This method was applied to the evaluation of the water environmental security of the Shenyang economic development zone. The results show that the water environmental security in this area will improve in five to ten years.

Key words: water environmental security; interval number; interval-type TOPSIS; index system

随着水环境安全问题受到越来越广泛的关注,水环境安全评价指标体系的建立以及评价方法的选择已成为该领域的重点工作[1]。目前水环境安全评价采取的方法有综合指数法[1]、半结构性决策方法[2]、模糊综合法、专家评分法以及人工神经网络法[3],这些方法或多或少存在信息量少、评价直观性较差等不足,且在评价时,各项指标采用的是确定值;而实际上在数据不充足的情况下,往往只能给出某些指标的一个概率区间[4],这给利用这些方法进行评价带来一定困难。水环境安全评价指标体系是多属性的,各指标存在不确定性,指标值往往是一个区间数,因此应用区间数方法评价更为适宜。目前区间数在决策问题中应用较多,而在水环境安全评价方面尚未见报道。本文尝试将多属性决策方法中的区间型逼近理想点法(interval-type TOPSIS)应用于水环境安全评价中,并以沈阳经济技术开发区为例,借鉴各种研究成果[2,4-5],建立评价标准及水环境安全等级,量化开发区未来5~10 a的水环境安全程度。

1 区间数理论和区间型逼近理想点法

由于客观事物的复杂性和不确定性以及人类思维的模糊性和有限性,人们往往不能明确地给出属性的信息量,即使大量的实验也不能给出属性值的具体数值,而是只能给出一个区间范围,以区间数的形式来表示,即 $\tilde{a}=[a^L,a^U]=\{x \mid a^L \leqslant x \leqslant a^U,\ a^L,\ a^U \in$

作者简介:潘俊(1962—),男,教授,博士,从事水资源与水环境污染防治研究。E-mail:470840316@qq.com

$\mathbf{R}\}$,称 $\tilde{a}$ 为一个区间数。所以,区间数理论就是用集值统计理论,在对不确定现象或事物以区间数表示的情况下,建立评判矩阵来进行综合研究[6]。

逼近理想点法是一种逼近于理想解的排序法,对检测评价对象与最优解、最劣解的距离来进行排序,若评价对象最靠近最优解同时又最远离最劣解,则为最好;否则为最差[7]。

区间型逼近理想点法[7]将评价指标数据区间化,利用逼近理想点法的原理,在构造各方案的理想方案基础上,以各方案与理想方案的距离大小来比较,建立数学优化模型,解决了信息量少或不确定性的问题,比较适合应用于水环境安全评价。

2 评价步骤

2.1 指标体系的建立

水环境安全是指水体保持一定的水量、安全的水质条件以维护其正常的生态系统和环境系统功能可持续正常发挥,同时能较大限度满足人类生产和生活的需要。水环境安全的内涵主要包括自然型水环境安全以及人为型水环境安全;其外延指的是由水环境安全引发的其他安全,如粮食安全、经济安全和国家安全等[1-2]。

立足于区域可持续发展的客观实际,结合水环境安全的内涵与外延,参考水环境安全评价指标体系[1]、水安全评价指标体系[2]、区域水资源可持续利用评价指标体系[8]等研究结果,从社会经济系统、水环境系统和生态环境系统 3 个方面出发,建立水环境安全指标体系,有关指标见表 1。

表 1 水环境安全评价指标

评价领域	评价指标
社会经济	人口密度、人均 GDP
水环境	人均供水量、人均水资源量、水资源利用率、自来水普及率、万元 GDP 耗水量、人均水资源利用量
生态环境	水功能区达标率、污径比、污染河流百分率、污水处理率、地下水水质达标率、污水回用率、有效灌溉面积占耕地面积百分率、工业用水重复利用率、节水灌溉农田百分率

根据层次分析法[9]计算得出各指标的权重,表示为 $\boldsymbol{\omega}$ = (0.082 8, 0.027 6, 0.030 5, 0.032 5, 0.060 3, 0.018 4, 0.093 3, 0.087 9, 0.096 1, 0.058 8, 0.062 7, 0.139 6, 0.034 7, 0.103 2, 0.014 5, 0.040 0, 0.017 0)$^{\mathrm{T}}$。

2.2 指标体系等级的建立

按照上述 17 个指标在水环境安全评价中所占权重,参考近年来我国社会人口和经济发展的现状,根据国际公认的一些指标值和各种标准以及其他学者在水环境安全方面的一些评价结果,以各标准中的最优标准、平均标准和最低标准将上述指标对水环境安全的影响程度划分为Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ等 3 个等级。其中Ⅰ级表明区域水环境安全程度较高,水资源利用程度、发展规模和污染情况都比较小,国民经济对水资源的需求有保障,水资源的供给情况较乐观;Ⅲ级表明该区域水环境安全已经达到极限状态,水资源进一步开发利用潜力较小,发展下去水资源将制约区域经济的发展,应该采取相应的对策,防止水环境继续恶化下去;Ⅱ级表明区域水环境安全程度介于上述两级之间。具体的水环境安全评价标准见表 2。

3 实例应用

沈阳经济技术开发区作为沈阳的重工业园区,普遍存在水环境污染问题。该区未来将打造成具有国际竞争力的先进装备制造业的产业新城,改善该区的水环境安全是一项重要任务。本文将区间型逼近理想点法的水环境安全评价应用于沈阳经济开发区的研究中,量化该区未来 5 ~ 10 a 的水环境安全情况。具体的计算方法与步骤可见文献[7,10]。

3.1 研究区不同水平年发展情况预测

依据表 2 建立的指标体系框架,结合收集的资料和该区的实际情况,分别从该区经济高速增长和低速增长两方面作考量,给出该区水环境安全评价各指标的高值和低值,结果见表 3。

3.2 沈阳经济开发区水环境安全评价

将水环境安全评价标准Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ的各评价指标集记为$\{x_1, x_2, x_3\}$,水平年 2010 年、2015 年、2020 年的各评价指标集记为$\{x_4, x_5, x_6\}$。将 6 组区间数

表 2 水环境安全评价标准

评价等级	人口密度/(人·km^{-2})	人均 GDP/万元	人均供水量/m^3	人均水资源量/m^3	水资源利用率/%	自来水普及率/%	万元 GDP 耗水量/m^3	人均水资源利用量/m^3	水功能区达标率/%
Ⅰ	0 ~ 500	100 ~ 200	<240	300 ~ 200	10 ~ 30	95 ~ 100	10 ~ 20	150 ~ 250	100
Ⅱ	500 ~ 800	50 ~ 100	240 ~ 300	200 ~ 150	30 ~ 50	80 ~ 95	20 ~ 50	100 ~ 150	90 ~ 100
Ⅲ	800 ~ 1000	0 ~ 50	330 ~ 1000	150 ~ 50	50 ~ 80	50 ~ 80	50 ~ 100	<100	50 ~ 90

评价等级	污径比/%	污染河流百分率/%	污水处理率/%	地下水水质达标率/%	污水回用率/%	有效灌溉面积占耕地面积的百分率/%	工业用水重复利用率/%	节水灌溉农田百分率/%
Ⅰ	<20	<10	90 ~ 100	80 ~ 100	90 ~ 100	90 ~ 100	90 ~ 100	90 ~ 100
Ⅱ	20 ~ 40	10 ~ 30	80 ~ 90	50 ~ 80	80 ~ 90	80 ~ 90	80 ~ 90	80 ~ 90
Ⅲ	40 ~ 100	30 ~ 100	60 ~ 80	30 ~ 50	60 ~ 80	50 ~ 80	50 ~ 80	60 ~ 80

表 3　沈阳经济技术开发区水环境安全指标数据

年份	人口密度/(人·km^{-2})	人均 GDP/万元	人均供水量/m^3	人均水资源量/m^3	水资源利用率/%	自来水普及率/%	万元 GDP 耗水量/m^3	人均水资源利用量/m^3	水功能区达标率/%
2010	3 800/3 100	25. 59/12. 34	1. 10/0. 51	205. 98/96. 01	50/40	85/80	35/30	119. 42/55. 66	95/90
2015	2 700/2 500	33. 57/30. 15	1. 26/1. 17	161. 84/151. 05	40/30	100/90	30/25	93. 83/87. 57	100/95
2020	2 300/2 300	137. 96/36. 84	1. 17/1. 15	113. 29/111. 07	30/20	100/100	25/20	65. 68/64. 39	100/98

年份	污径比/%	污染河流百分率/%	污水处理率/%	地下水水质达标率/%	污水回用率/%	有效灌溉面积占耕地面积的百分率/%	工业用水重复利用率/%	节水灌溉农田百分率/%
2010	30/25	100/100	80/75	35/30	119. 42/55. 66	95/90	30/25	100/100
2015	25/20	100/100	90/85	30/25	93. 83/87. 57	100/95	25/20	100/100
2020	20/15	100/100	98/95	25/20	65. 68/64. 39	100/98	20/15	100/100

注:每一数据"/"上面为高值,下面为低值。

的集转为规范化矩阵 $\widetilde{\boldsymbol{R}}$,利用属性权重向量 $\boldsymbol{\omega}$ 和规范化矩阵 $\widetilde{\boldsymbol{R}}$,构造加权规范化决策矩阵 $\widetilde{\boldsymbol{Y}}_{ij}=\boldsymbol{\omega}_j\widetilde{\boldsymbol{R}}_{ij}$,详见表 4。

通过计算得出每个水安全评价值 x_i 到正理想点 D_i^+ 和负理想点 D_i^- 的距离分别为:

$D_1^+=0.1872$, $D_2^+=0.1996$, $D_3^+=0.1868$, $D_4^+=0.1357$, $D_5^+=0.1807$, $D_6^+=0.1833$;

$D_1^-=0.0902$, $D_2^-=0.0778$, $D_3^-=0.0906$, $D_4^-=0.1417$, $D_5^-=0.0967$, $D_6^-=0.0941$。

每个水安全评价值 x_i 对理想点的贴近度分别为 $c_1=0.2805$, $c_2=0.3252$, $c_3=0.3266$, $c_4=0.5108$, $c_5=0.3486$, $c_6=0.3393$。

按照 c_i 值的大小对 c_i 分别进行排序得

$c_4>c_3>c_2>c_1$; $c_5>c_3>c_2>c_1$; $c_6>c_3>c_2>c_1$; $c_4>c_5>c_6$

从不同规划水平年与 3 个等级标准的水安全评价值对理想点的比较结果来看,2010 年、2015 年和 2020 年研究区水环境安全评价结果都劣于水环境安全评价标准Ⅲ级,说明开发区的水环境安全仍需要提高。为此应重点加强工业废水治理,提高区域内各种用水的效率,改善区域内水体的生态环境,实现该区域的可持续发展。

从规划水平年的水安全评价值对理想点贴近度数值比较结果可以看出,2020 年水环境安全优于现状年 2010 年,反映出开发区未来 5 ~ 10 a 的水环境安全会逐渐改善和转好,应继续加强对水环境以及生态环境污染问题的治理,保障区域社会、经济和环境的可持续发展。

4　结　语

目前,在水环境安全评价研究中往往存在着信息量不足的问题,常用方法无法在有限的信息量中对水环境安全进行直观性的评价。基于区间型逼近理想点法的水环境安全评价方法,解决了水环境安全评价中的信息不确定性或区间性的问题。该方法充分利用决策信息,合理有效,简单实用,能够较准确客观地评价所研究区域的水环境安全情况。

参考文献:

[1] 曾畅云,李贵宝,傅桦. 水环境安全及其指标体系研究:

表 4　加权规范化决策矩阵 $\widetilde{\boldsymbol{Y}}_{ij}$

评价指标	x_1(Ⅰ)	x_2(Ⅱ)	x_3(Ⅲ)	x_4(2010 年)	x_5(2015 年)	x_6(2020 年)
人口密度	(0. 0000,0. 0346)	(0. 0167,0. 0381)	(0. 0201,0. 0470)	(0. 0336,0. 1398)	(0. 0525,0. 0611)	(0. 0533,0. 0555)
人均 GDP	(0. 0012,0. 0046)	(0. 0006,0. 0016)	(0. 0000,0. 0008)	(0. 0000,0. 0001)	(0. 0002,0. 0003)	(0. 0003,0. 0011)
人均供水量	(0. 0000,0. 0061)	(0. 0030,0. 0058)	(0. 0031,0. 0173)	(0. 0000,0. 0000)	(0. 0000,0. 0000)	(0. 0000,0. 0000)
人均水资源量	(0. 0027,0. 0082)	(0. 0020,0. 0037)	(0. 0005,0. 0028)	(0. 0003,0. 0014)	(0. 0012,0. 0014)	(0. 0010,0. 0011)
水资源利用率	(0. 0003,0. 0015)	(0. 0007,0. 0017)	(0. 0009,0. 0027)	(0. 0003,0. 0006)	(0. 0005,0. 0007)	(0. 0003,0. 0005)
自来水普及率	(0. 0007,0. 0015)	(0. 0006,0. 0010)	(0. 0003,0. 0008)	(0. 0002,0. 0003)	(0. 0004,0. 0005)	(0. 0005,0. 0005)
万元 GDP 耗水量	(0. 0004,0. 0016)	(0. 0008,0. 0027)	(0. 0014,0. 0053)	(0. 0003,0. 0007)	(0. 0006,0. 0008)	(0. 0005,0. 0007)
人均水资源利用量	(0. 0056,0. 0184)	(0. 0036,0. 0076)	(0. 0000,0. 0050)	(0. 0005,0. 0022)	(0. 0020,0. 0023)	(0. 0016,0. 0017)
水功能区达标率	(0. 0041,0. 0080)	(0. 0035,0. 0055)	(0. 0015,0. 0049)	(0. 0009,0. 0019)	(0. 0023,0. 0026)	(0. 0026,0. 0028)
污径比	(0. 0000,0. 0010)	(0. 0005,0. 0014)	(0. 0007,0. 0033)	(0. 0002,0. 0004)	(0. 0003,0. 0004)	(0. 0002,0. 0003)
污染河流百分率	(0. 0000,0. 0005)	(0. 0003,0. 0011)	(0. 0006,0. 0036)	(0. 0007,0. 0013)	(0. 0016,0. 0017)	(0. 0018,0. 0018)
污水处理率	(0. 0053,0. 0117)	(0. 0045,0. 0072)	(0. 0025,0. 0063)	(0. 0011,0. 0023)	(0. 0030,0. 0034)	(0. 0037,0. 0040)
地下水水质达标率	(0. 0012,0. 0029)	(0. 0007,0. 0016)	(0. 0003,0. 0010)	(0. 0002,0. 0007)	(0. 0008,0. 0009)	(0. 0009,0. 0010)
污水回用率	(0. 0039,0. 0086)	(0. 0033,0. 0053)	(0. 0019,0. 0047)	(0. 0009,0. 0019)	(0. 0024,0. 0025)	(0. 0026,0. 0029)
有效灌溉面积占耕地面积的百分率	(0. 0006,0. 0012)	(0. 0005,0. 0008)	(0. 0002,0. 0007)	(0. 0001,0. 0003)	(0. 0003,0. 0004)	(0. 0004,0. 0004)
工业用水重复利用率	(0. 0015,0. 0033)	(0. 0013,0. 0021)	(0. 0006,0. 0018)	(0. 0004,0. 0008)	(0. 0009,0. 0010)	(0. 0011,0. 0012)
节水灌溉农田百分率	(0. 0006,0. 0014)	(0. 0005,0. 0009)	(0. 0003,0. 0008)	(0. 0001,0. 0003)	(0. 0004,0. 0004)	(0. 0004,0. 0005)

以北京市为例[J]. 南水北调与水利科技,2004,2(4):34-35. (ZENG Changyun, LI Guibao, FU Hua. Study on water environment security and Its evaluation Index system:a case study of Beijing[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2004,2(4):34-35. (in Chinese))

[2] HAN Yuping, RUAN Benqing. Research on Evaluation Index System of Water Safety [J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2003,23(2):267-272.

[3] 孙海龙,姚卫星. 区间数排序方法评述[J]. 系统工程学报, 2010, 25 (3): 304-312。(SUN Hailong, YAO Weixing. Comments on methods for ranking interval numbers[J]. Journal of Systems Engineering, 2010, 25 (3):304-312. (in Chinese))

[4] 耿雷华,卞锦宇,徐澎波,等. 水资源合理配置评价指标体系研究[M]. 北京:中国环境科学出版社,2008:158-170.

[5] 畅明琦,刘俊平. 水资源安全基本概念与研究进展[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18 (8): 12-19. (CHANG Mingqi, LIU junping. Basic concept of water resources security and its research development [J]. China Safety Science Journal, 2008,18(8):12-19. (in Chinese))

[6] 胡启洲,张卫华. 区间数理论的研究及其应用[M]. 北京:科学出版社,2010:9-12.

[7] 张吉军,樊玉英. 权重为区间数的多指标决策问题的逼近理想点法[J]. 系统工程与电子技术,2002,24(11):76-77 (ZHANG Jijun, FAN Yuying. Topsis of multiple attribute decision making problem with interval-valued weight[J]. Systems Engineering and Electronics, 2002,24 (11):76-77. (in Chinese))

[8] 徐良芳,冯国章,刘俊民. 区域水资源可持续利用及其评价指标体系研究[J]. 西北农林科技大学学报,2002,30(2):119-122. (XU Liangfang, FENG Guozhang, LIU Junmin. Sustainable utilization and evaluation index system for regional water resources [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2002,30(2):119-122. (in Chinese))

[9] 李祚泳,丁晶,彭荔红. 环境质量评价原理与方法[M]. 北京:化学工业出版社,2004:35-67.

[10] 徐泽水. 不确定多属性决策方法及其应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004:105-115.

(收稿日期:2012-09-23 编辑:徐 娟)

(上接第 5 页)

[7] 王沛芳,王超,徐海波. 自然水塘湿地系统对农业非点源氮的净化截留效应研究[J]. 农业环境科学学报, 2006,25(3):782-785. (WANG Peifang, WANG Chao, XU Haibo. Effectiveness of nutrient retention and purification in natural ponds [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25 (3): 782-785. (in Chinese))

[8] KRIEGER K A. Effectiveness of a coastal wetland in reducing pollution of a Lanurentian great lake: hydrology, sediment, and nutrients[J]. Wetlands,2003,23(4):778-791.

[9] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002:105-107,607.

[10] 王世和,王薇,俞燕. 水利条件对人工湿地处理效果的影响[J]. 东南大学学报:自然科学版,2003,33(3):359-362. (WANG Shihe, WANG Wei, YU Yan. Influence of hydraulic condition on treatment effect of constructed wetland[J]. Journal of Southeast University: Natural Science,2003,33(3):359-362. (in Chinese))

[11] LI Xiuzhen, ROB J, Xiao Duning, et al. The effect of spatial pattern on nutrient removal of a wetland landscape [J]. Landscape and Urban Planning,2002,60:27-41.

[12] KADLEC R H,KNIGHT R L. Treatment Wetlands [M]. Boca Raton: CRC Press, 1996.

[13] 陈博谦,王星,尹澄清. 湿地土壤因素对污水处理作用的模拟研究[J]. 城市环境与城市生态,1999,12(1):19-21. (CHEN Boqian, WANG Xing, YIN Chenqing. The role of soils in wastewater treatment in a simulated constructed wetland [J]. Urban Environment & Urban Ecology,1999,12(1):19-21. (in Chinese))

[14] WAN Jun,WANG Ze,YUAN Hezhong. Characteristics of phosphorus fractionated from sediment resuspension in abrupt expansion flow experiments [J]. Journal of Environmental Sciences,2010,22(10):1519-1526.

[15] 陈建中,刘志礼,李晓明,等. 温度、pH 和氮、磷含量对铜绿微囊藻生长的影响[J]. 海洋与湖沼,2010,41(5): 714-718. (CHEN Jianzhong, LIU Zhili, LI Xiaoming,et al. Effect of temperature, pH, nitrogen and phsophorus on growth on Microcystis aeruginosa [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica,2010,41(5):714-718. (in Chinese))

(收稿日期:2012-02-30 编辑:徐 娟)