

基于组合权重-理想区间法的河长制实施效果 评价模型及应用研究

彭欣雨, 唐德善

(河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 从水资源保护效果、水污染防治效果、水环境整治效果、社会民生效果、执法监督效果5个方面选取15个评价指标构建了河长制实施效果评价指标体系,根据得到的评价标准,建立了基于组合权重-理想区间法的河长制实施效果评价模型,采用层次分析法和客观权重求得组合权重,根据理想区间法评价河长制实施效果。利用该模型对陕西省2012-2018年的河长制实施效果进行评价,采用主客观权重相结合的组合权重,计算结果更稳定、合理、科学。结果表明:陕西省的河长制实施效果逐年提高,并在2017年达到优,与实际情况相符合,2018年河长制实施效果进一步得到优化。该模型针对河长制实施效果评价具有普遍适用性。

关键词: 河长制; 组合权重; 理想区间法; 层次分析法; 实施效果; 评价模型; 陕西省

中图分类号:TV213.9

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2020)02-0050-07

The evaluation model and its application of the river chief system based on the combined weight - ideal interval method

PENG Xinyu, TANG Deshan

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To evaluate the river chief system implementation effect, we selected 15 evaluation indexes from five aspects, namely the effects of water conservation, the effects of water pollution prevention and control, the effect of water environment improvement, the effect of people's livelihood and the effect of law enforcement and supervision. According to the obtained evaluation standard, we built up an evaluation model for the implementation of river chief system based on the combined weight - ideal interval method. With this model, the analytic hierarchy process (AHP) method and objective weight method were used to obtain the combined weight, and ideal interval method was used to evaluate the implementation effect of the river chief system. This model was then used to evaluate the river chief system implementation effect of Shaanxi Province in 2012 - 2018. Through the adoption of combined weight which took advantage of both subjective and objective weights, more stable, reasonable and accurate results were obtained. The results showed that the implementation effect of Shaanxi Province improved year by year, and it reached excellent level in 2017, which was consistent with the actual situation. The implementation effect of the river chief system was further optimized in 2018. It is proved that this model has universal applicability for the evaluation of the implementation effect of the river chief system.

Key words: river chief system; combined weight; ideal interval method; analytic hierarchy process (AHP); implementation effect; evaluation model; Shaanxi Province

1 研究背景

河长制的推行,是为了强调顺应“尊重自然、顺

应自然、保护自然”的准则,倡导人与水和谐相处,实现河道、湖泊环境整洁优美、水清岸绿,解决随着社会高速发展而产生的一系列水问题,从而达到促

收稿日期:2019-10-11; 修回日期:2019-12-17

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0405805-04)

作者简介:彭欣雨(1996-),女,湖南浏阳人,硕士研究生,研究方向为水利水电系统规划与工程经济。

通讯作者:唐德善(1955-),男,江苏泰州人,教授,博士生导师,研究方向为水利水电系统规划与管理。

进区域水生态文明建设的目的^[1-2]。因此,综合评价河长制实施效果,剖析河长制实施中未能解决且一直存在的问题,对于促进区域水生态文明建设具有极其重要的意义。

近些年来,许多专家学者从不同的角度、运用不同的方法对河长制进行了研究。沈晓梅等^[3]基于 DPSIRM 模型,构建了包括驱动力、压力、状态、影响、响应和管理 6 类指标的河长制综合评价指标体系;姜明栋等^[4]全面解读了河长制推行的目标,构建了江苏省河长制推行成效评价体系;李红梅等^[5]从监督手段、指标构建和考核方式 3 个角度对河长制的绩效评价体系进行研究;崔东文^[6]从水资源保护、水域岸线管理、水污染防治、水环境治理与水生态修复、执法监管 5 个方面构建区域河长制考核评价指标体系进行研究。虽然国内很多学者对河长制进行了研究,但现阶段的研究多以河长制考核本身作为研究主体,无法对一个区域实行河长制之后产生的具体效果进行评价。

本文在已有的研究基础上,从水资源保护效果、水污染防治效果、水环境整治效果、社会民生效果和执法监督效果 5 个角度构建河长制实施效果评价指标体系,由于河长制实施效果评价的标准是一个区间的概念,为了科学地对河长制实施效果进行综合评价,本文运用理想区间法,并将组合权重运用于理想区间法中,建立基于组合权重-理想区间法的河长制实施效果评价模型,进一步应用于陕西省河长制实施效果的评价。

2 河长制实施效果评价指标体系

影响河长制实施效果的因素有很多,根据河长制的推行目的,从水资源保护效果、水污染防治效果、水环境整治效果、社会民生效果和执法监督效果 5 个方面,选取了 15 个评价指标来构建河长制实施效果评价指标体系。

这些指标分别为:万元 GDP 用水量(m^3);集中式饮用水水源地达标率(%);集中式饮用水水源地水量达标率(%);节水灌溉率(%);城市用水普及率(%);三类及以上水质比例(%);城市污水处理率(%);工业废水处理率(%);中营养化及以上水库比例(%);建成区绿化覆盖率(%);水功能区水质达标率(%);人居满意度;部门满意度;河长制公示牌覆盖率(%);(功能区)河长达标率(%);环境保护投资占 GDP 比重(%). 河长制实施效果评价指标体系见表 1。

表 1 河长制实施效果评价指标体系

目标层	准则层	方案层
河长制实施效果评价 E	水资源保护效果 E ₁	万元 GDP 用水量 E ₁₁
		集中式饮用水水源地达标率 E ₁₂
		节水灌溉率 E ₁₃
		城市用水普及率 E ₁₄
	水污染防治效果 E ₂	三类及以上水质比例 E ₂₁
城市污水处理率 E ₂₂		
工业废水处理率 E ₂₃		
水环境整治效果 E ₃	中营养化及以上水库比例 E ₃₁	
	建成区绿化覆盖率 E ₃₂	
	水功能区水质达标率 E ₃₃	
社会民生效果 E ₄	人居满意度 E ₄₁	
	部门满意度 E ₄₂	
执法监督效果 E ₅	河长制公示牌覆盖率 E ₅₁	
	(功能区)河长达标率 E ₅₂	
	环境保护投资占 GDP 比重 E ₅₃	

3 基于组合权重-理想区间法的河长制实施效果评价模型

由于河长制实施效果评价是一个多指标的问题,不同地区的社会经济差异性较大,研究河长制实施效果受当地社会经济发展状况、生态环境治理情况和投入情况、群众对河湖及生活满意度的影响,因此河长制实施效果评价是一个典型的多目标、多决策的复合系统问题,又因为河长制实施效果等级划分是一个区间的问题,这就为应用组合权重-理想区间模型对河长制实施效果评价提供了理论依据。评价是通过数学的方法,建立相应适合的评价模型,利用该模型和当地的数据,对当地河长制实施效果进行评价。

组合权重-理想区间法容易理解,计算简便,不但能够体现河长制实施效果中水资源保护、水污染防治、水环境整治、社会民生和执法监督各个指标之间的复杂关系,而且评价科学、合理。组合权重-理想区间既融入了专家的主观意见,又结合了客观事实数据关系的权重,将二者线性加权组合得到最优的评价权重,比较符合实际。运用理想区间法,将评价标准处理成区间的形式,计算相应的效果等级距离,得到最终的结果,距离越小,说明该年份离该等级越近,该方法比较符合实际,较为合理。以陕西省为例,运用组合权重-理想区间法对该省份 2012-

2018年河长制评估进行评价,为评价该省河长制实施效果提供了有效的方法。

3.1 组合权重-理想区间法基本思想

组合权重-理想区间法的原理是融合了主观和客观组合赋权的思想,得到更加客观的权重,再计算各年份到各等级理想区间向量的距离,得到最小距离,求得隶属等级。充分考虑评价等级的区间性、指标之间的复杂性和层次性,建立该模型使得评价更加清晰、简便且合理。最后通过最小距离得到相应评价等级,使得结果更加明朗,相应年份河长制实施效果情况简洁明了。

3.2 组合权重-理想区间法模型构建过程

使用组合权重-理想区间法构建河长制实施效果评价模型,应按以下步骤进行。

步骤1 构造目标向量函数^[7-10]。选用陕西省河长制实施效果评价系统中的15个指标来综合评价陕西省河长制实施效果,由此构造目标向量函数: $F(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_j(x), \dots, f_n(x)]^T$ ($j = 1, 2, \dots, 15$)

步骤2 构造年份指标向量^[7-10]。设陕西省第 k 个年份指标向量为 F_k 为:

$$F_k = [f_{1,k}, f_{2,k}, \dots, f_{j,k}, \dots, f_{n,k}]^T \quad (2)$$

$(k = 1, 2, \dots, 7)$

步骤3 构造理想区间向量^[7-10](见表4)。陕西省河长制综合评价标准中的每一等级的标准指标构成理想区间向量:

$$F_i^* = [f_{1,i}^*, f_{2,i}^*, \dots, f_{j,i}^*, \dots, f_{n,i}^*]^T \quad (3)$$

$(i = 1, 2, 3, 4)$

$$f_{j,i}^* = [a_{j,i}, b_{j,i}] \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (4)$$

步骤4 计算组合权重

(1)主观权重计算。本文主观赋权采用层次分析法(AHP法)^[11-12]。层次分析法建模,可以分为一下4个步骤:①建立层次结构(参见表1);②构造判断矩阵;③求解判断矩阵,本文采用方根法进行求解;④一致性检验并修正。

(2)客观权重计算。对指标的原始数据值进行无量纲化处理。然后,计算河长制实施效果指标的权重。

(3)组合权重的计算。为避免单一赋权造成权重的不合理性,本文采用层次分析法(AHP法)和客观赋权法线性加权组合的主客观综合赋权法对河长制实施效果评价指标进行权重计算。本文采用线性加权组合法^[13-14]计算组合权重。

步骤5 计算年份到各等级理想区间向量的距离^[7-10]。取第 k 个年份到第 i 个理想区间向量的距

离 $d(i, k)$,计算公式如下^[8]:

$$d(i, k) = \sum_{j=1}^n \lambda_j \Delta(i, j, k) \quad (5)$$

步骤6 求最小距离^[7-10]。取每一年份中 $d(i, k)$ 的最小距离,最小距离所对应的等级 i 即为第 k 个年份的河长制实施效果评价等级。

4 陕西省河长制实施效果评价

4.1 原始数据及处理

为了检验构建的组合权重-理想区间法模型对于河长制实施效果评价的合理性和有效性,查阅《陕西省统计年鉴》《陕西省水资源公报》《陕西省环境公报》《陕西省“十三五”生态环境保护规划》等资料,参考陕西省统计局、陕西省水利厅、陕西省生态环境厅等相关单位网上公开资料,经统计得到2012-2018年的陕西省河长制实施效果各评价指标数据及无量纲化后的各项评价指标数据,分别见表2和表3,个别年份的缺失数据采用插值法进行补充。

4.2 评价指标体系

在综合国内外的研究成果、咨询专家意见,结合《中华人民共和国河道管理条例》《水污染物排放限值》《陕西省“十三五”生态环境保护规划》《陕西省用水定额》《陕西省关于全面推行河长制的实施方案》等相关规划及文件,参照相关国家标准及研究^[15]、各指标的评价标准(河湖生态健康评价指标研究^[16]),综合国内研究成果^[17-20],咨询专家意见,对河长制实施效果进行评价等级划分,分为差(I级),中(II级),良(III级),优(IV级)4个等级,具体划分结果见表4。

4.3 组合权重的确定

(1)主观权重确定。通过公式^[11-12]得到判断矩阵为:

$$\bar{W} = \begin{bmatrix} 1.3966 & 2.0372 & 0.9433 & 0.6233 & 4.1311 \\ 3.0333 & 2.9757 & 0.3930 & 0.3351 & 2.0834 \\ 1.3966 & 0.3096 & 0.2324 & 0.7558 & 0.9294 \end{bmatrix}$$

判断矩阵归一化处理:

$$W = \begin{bmatrix} 0.0647 & 0.0944 & 0.0437 & 0.0289 & 0.1915 \\ 0.1406 & 0.1379 & 0.0182 & 0.0155 & 0.0966 \\ 0.0647 & 0.0143 & 0.0108 & 0.0350 & 0.0431 \end{bmatrix}$$

一致性检验:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} = 16.1158$$

则一致性指标为:

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0.0501 < 0.1 \text{ 满足一致性要求。}$$

(2)客观权重的确定。求客观权重值,河长制实施效果指标的客观权重详见表 5。

(3)组合权重值。通过线性加权组合法求组合权重值,由于主观赋权带有个人主观意愿,故可分配

系数 $\alpha = 0.4$,组合权重结果见表 6。

4.4 最小距离确定

通过文献[8]公式(5)计算各年份到各等级理想区间的距离,结果见表 7。确定各年份的最短距离,确定所属等级,结果见表 8。

表 2 2012-2018 年陕西省河长制实施效果评价指标统计数据

评价指标	待评价年份						
	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
万元 GDP 用水量/m ³	38.30	42.50	47.40	50.20	50.60	54.90	59.00
集中式饮用水水源地达标率/%	100.00	92.80	96.40	100.00	100.00	99.80	100.00
节水灌溉率/%	66.01	65.66	65.36	64.23	63.10	61.96	62.19
城市用水普及率/%	99.99	95.95	95.61	97.12	96.25	96.52	96.15
三类及以上水质比例/%	100.00	77.60	71.10	69.55	81.15	74.80	67.65
城市污水处理率/%	93.5	92.44	91.36	91.52	91.99	89.04	87.64
工业废水排放达标率/%	96.01	98.92	98.37	97.90	97.56	97.23	97.10
中营养化以下水库比例/%	92.80	21.43	10.00	20.00	20.00	23.08	7.69
建成区绿化覆盖率/%	40.57	39.88	40.14	40.57	40.76	40.19	40.36
水功能区水质达标率/%	68.00	60.50	59.90	60.60	54.70	51.00	51.00
人居满意度	4.85	4.50	4.20	3.50	3.30	3.00	2.70
部门满意度	4.80	4.50	4.00	3.30	3.00	2.60	2.50
河长制公示牌覆盖率/%	95.00	92.00	88.00	86.00	80.00	77.00	75.00
河长达标率/%	81.80	62.60	62.60	60.80	59.00	52.50	47.80
环境污染治理投资占 GDP 比重/%	1.51	1.42	1.32	1.14	1.56	1.38	0.80

表 3 2012-2018 年陕西省河长制实施效果无量纲化后的评价指标数据

评价指标	待评价年份						
	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
万元 GDP 用水量	0.7819	0.8676	0.9676	1.0248	1.0330	1.1207	1.2044
集中式饮用水水源地达标率	1.0160	0.9428	0.9794	1.0160	1.0160	1.0139	1.0160
节水灌溉率	1.0301	1.0248	1.0201	1.0025	0.9848	0.9670	0.9706
城市用水普及率	1.0330	0.9912	0.9877	1.0033	0.9943	0.9971	0.9933
三类及以上水质比例	1.2919	1.0025	0.9185	0.8985	1.0484	0.9663	0.8740
城市污水处理率	1.0267	1.0150	1.0032	1.0049	1.0101	0.9777	0.9623
工业废水排放达标率	0.9838	1.0137	1.0081	1.0032	0.9998	0.9964	0.9951
中营养化以下水库比例	3.3313	0.7692	0.3590	0.7180	0.7180	0.8284	0.2761
建成区绿化覆盖率	1.0054	0.9883	0.9947	1.0054	1.0101	0.9960	1.0002
水功能区水质达标率	1.1733	1.0439	1.0335	1.0456	0.9438	0.8800	0.8800
人居满意度	1.2933	1.2533	1.1200	0.9333	0.8800	0.8000	0.7200
部门满意度	1.3603	1.2753	1.1336	0.9352	0.8502	0.7368	0.7085
河长制公示牌覆盖率	1.1214	1.0860	1.0388	1.0152	0.9444	0.9089	0.8853
河长达标率	1.3407	1.0260	1.0260	0.9965	0.9670	0.8605	0.7834
环境污染治理投资占 GDP 比重	1.1577	1.0887	1.0120	0.8740	1.1961	1.0581	0.6134

表4 陕西省河长制实施效果评价等级与标准

评价指标	差(I级)	中(II级)	良(III级)	优(IV级)
万元 GDP 用水量/m ³	>120	90~120	50~90	0~50
集中式饮用水水源地达标率/%	0~50	50~75	75~90	90~100
节水灌溉率/%	0~25	25~50	50~75	75~100
城市用水普及率/%	0~40	40~60	60~80	80~100
三类及以上水质比例/%	0~25	25~50	50~75	75~100
城市污水处理率/%	0~40	40~75	75~95	95~100
工业废水排放达标率/%	0~40	40~75	75~90	90~100
中营养化以下水库比例/%	0~25	25~50	50~75	75~100
建成区绿化覆盖率/%	0~25	25~50	50~75	75~100
水功能区水质达标率/%	0~25	25~50	50~75	75~100
人居满意度	0~2	2~3	3~4	4~5
部门满意度	0~2	2~3	3~4	4~5
河长制公示牌覆盖率/%	0~40	40~60	60~80	80~100
河长达标率/%	0~25	25~50	50~75	75~100
环境污染治理投资占 GDP 比重/%	0~0.8	0.8~1.5	1.5~1.7	>1.7

表5 2012-2018年陕西省河长制实施效果评价指标客观权重值

评价指标	待评价年份						
	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
万元 GDP 用水量	0.0413	0.0564	0.0663	0.0708	0.0708	0.0794	0.0935
集中式饮用水水源地达标率	0.0536	0.0613	0.0671	0.0702	0.0696	0.0719	0.0789
节水灌溉率	0.0544	0.0666	0.0699	0.0692	0.0675	0.0685	0.0753
城市用水普及率	0.0545	0.0644	0.0676	0.0693	0.0681	0.0707	0.0771
三类及以上水质比例	0.0682	0.0651	0.0629	0.0621	0.0718	0.0685	0.0678
城市污水处理率	0.0542	0.0660	0.0687	0.0694	0.0692	0.0693	0.0747
工业废水排放达标率	0.0519	0.0659	0.0690	0.0693	0.0685	0.0706	0.0772
中营养化以下水库比例	0.1758	0.0500	0.0246	0.0496	0.0492	0.0587	0.0214
建成区绿化覆盖率	0.0531	0.0642	0.0681	0.0694	0.0692	0.0706	0.0776
水功能区水质达标率	0.0619	0.0678	0.0708	0.0722	0.0647	0.0624	0.0683
人居满意度	0.0683	0.0814	0.0767	0.0645	0.0603	0.0567	0.0559
部门满意度	0.0718	0.0829	0.0776	0.0646	0.0583	0.0522	0.0552
河长制公示牌覆盖率	0.0592	0.0706	0.0711	0.0701	0.0647	0.0645	0.0687
河长达标率	0.0708	0.0667	0.0703	0.0688	0.0662	0.0610	0.0608
环境污染治理投资占 GDP 比重	0.0610	0.0707	0.0693	0.0605	0.0819	0.0750	0.0476

从陕西省的河长制实施效果评价模型得到的结果可以看出,在2012-2016年间,河长制实施效果处于良(III级),在2016年全面实施河长制之前,各地河流的管理处于不稳定的状态,河湖管理不佳。但自从2016年全面实施河长制以来,取得的效果尤其显著。在2017年时,河长制实施效果达到优(IV级),与陕西省实际情况保持一致。这说明,随着河

长制的不断实施,效果正在不断提高。此后,2018年河长制实施效果也达到了优(IV级)。从2017、2018年的最小距离可看出,随着河长制的实施,2018年的距离较2017年更短,2018年的河长制实施效果进一步加强,这也反应出陕西省进一步加大了河长制的实施力度,使其优化并达到了更好的效果,2018年河长制实施效果达到最优化的程度。

表 6 2012-2018 年陕西省河长制实施效果评价指标组合权重值

评价指标	待评价年份						
	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
万元 GDP 用水量	0.0507	0.0597	0.0657	0.0684	0.0684	0.0736	0.0820
集中式饮用水水源地达标率	0.0699	0.0745	0.0780	0.0799	0.0795	0.0809	0.0851
节水灌溉率	0.0501	0.0574	0.0594	0.0590	0.0580	0.0586	0.0627
城市用水普及率	0.0443	0.0502	0.0521	0.0531	0.0524	0.0540	0.0578
三类及以上水质比例	0.1175	0.1157	0.1143	0.1138	0.1197	0.1177	0.1173
城市污水处理率	0.0887	0.0958	0.0975	0.0979	0.0978	0.0978	0.1011
工业废水排放达标率	0.0863	0.0947	0.0966	0.0967	0.0963	0.0975	0.1015
中营养化以下水库比例	0.1128	0.0373	0.0220	0.0370	0.0368	0.0425	0.0201
建成区绿化覆盖率	0.0381	0.0447	0.0471	0.0479	0.0477	0.0486	0.0528
水功能区水质达标率	0.0758	0.0793	0.0811	0.0820	0.0774	0.0760	0.0796
人居满意度	0.0668	0.0748	0.0719	0.0646	0.0621	0.0599	0.0594
部门满意度	0.0488	0.0555	0.0523	0.0445	0.0407	0.0371	0.0387
河长制公示牌覆盖率	0.0398	0.0467	0.0470	0.0464	0.0431	0.0430	0.0456
河长达标率	0.0565	0.0540	0.0562	0.0553	0.0538	0.0506	0.0505
环境污染治理投资占 GDP 比重	0.0539	0.0597	0.0588	0.0535	0.0663	0.0622	0.0458

表 7 2012-2018 年各年份到各等级理想区间的距离

距离	待评价年份						
	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
$d(1,k)$	2.9476	2.7591	2.7833	2.7390	2.8201	2.6829	2.5686
$d(2,k)$	2.5439	2.2700	2.1370	1.9184	2.0541	1.7973	1.7246
$d(3,k)$	1.5481	1.3511	1.2021	1.1631	1.0857	1.1649	1.1940
$d(4,k)$	1.1874	1.1966	1.2884	1.6151	1.2796	1.6450	1.7330

表 8 各年份到理想区间的最小距离及所属等级

项目	待评价年份						
	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
最小距离	1.1874	1.1966	1.2021	1.1631	1.0857	1.1649	1.1940
所属等级	优(IV级)	优(IV级)	良(III级)	良(III级)	良(III级)	良(III级)	良(III级)

5 结 论

自河长制实施以来,我国一直缺少针对河长制实施效果的评价指标体系。本文提出了基于组合权重-理想区间法的河长制实施效果评价模型,将水资源保护效果、水污染防治效果、水环境整治效果、社会民生效果、执法监督效果 5 个方面引入河长制实施效果评价中,给出了组合权重-理想区间法的河长制实施效果评价标准,采用了层次分析法(AHP法)和客观权重相结合的主客观线性加权组合,充分考虑了河长制实施效果评价指标的差异性。通过结合实例进行分析和应用,采用详细的计算步骤和

过程说明,得出陕西省在 2012-2016 年间,河长制实施效果处于良(III级),从 2016 年全面实施河长制以来,取得的效果尤其显著。在 2017、2018 年,河长制实施效果均达到优(IV级),与实际情况相符,这说明构建的组合权重-理想区间法是有效的。本文选用的河长制评价指标体系可以通用到全国河长制实施效果评价中,一定程度上增加了本文所提出模型的适用性。由于各省具有不同的地理位置和条件,河长制的实施是一个动态的过程,要实现河长制实施效果的精确评价,还需要不断地深入研究与努力。若陕西省继续实施河长制,河流管理和保护将会达到更优的效果。

参考文献:

- [1] 夏东民,罗健.“美丽中国”内涵的哲学思考[J]. 河南社会科学,2014,22(6):21-25.
- [2] 梅凤乔. 论生态文明政府及其建设[J]. 中国人口·资源与环境,2016,26(3):1-8.
- [3] 沈晓梅,姜明栋. 基于 DPSIRM 模型的河长制综合评价指标体系研究[J]. 人民黄河,2018,40(8):78-84+90.
- [4] 姜明栋,沈晓梅,王彦滢,等. 江苏省河长制推行成效评价和时空差异研究[J]. 南水北调与水利科技,2018,16(3):201-208.
- [5] 李红梅,祝诗羽,张维宇. 我国“河长制”绩效评价体系构建研究[J]. 环境与发展,2018,30(11):207-209.
- [6] 崔东文. 改进蝴蝶优化算法-投影寻踪模型在区域河长制考核评价中的应用[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2019,41(5):12-18.
- [7] 邓晓盈,辛琳,赵蕊. 基于多目标决策-理想区间模型对重庆市房产税改革效果的综合评价[J]. 科技和产业,2018,18(8):133-136.
- [8] 王泉,周云海,姚俊伟,等. 基于组合赋权和理想区间法的真空断路器状态评估[J]. 高压电器,2019,55(4):39-45.
- [9] 秦隆宇. 多目标决策-理想区间模型的辽河流域水资源承载能力综合评价[J]. 黑龙江水利科技,2018,46(10):184-187.
- [10] 邓晓盈,辛琳,赵蕊. 基于多目标决策-理想区间模型对重庆市房产税改革效果的综合评价[J]. 科技和产业,2018,18(8):133-136.
- [11] 黄楚珩,蒋志云,杨志广,等. 基于熵值法和层次分析法的广东省水资源安全评价及影响因素分析[J]. 水资源与水工程学报,2019,30(5):140-147.
- [12] 曾超,杨侃,刘朗,等. 基于层次分析法的变权 PROMETHEE 模型在雨水利用评价中的应用[J]. 水资源与水工程学报,2018,29(3):124-129.
- [13] 舒持恺,杨侃. 基于组合赋权的湖泊健康评价物元分析模型[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(2):40-46.
- [14] 吴梦烟,杨侃,刘朗,等. 基于灰色局势决策和组合赋权法的再生水评价[J]. 水资源与水工程学报,2018,29(3):111-117.
- [15] 杨柳,宋健飞,宋波,等. 主要污染物水质标识指数法在河流水质评价的应用[J]. 环境科学与技术,2015,38(11):239-245.
- [16] 郑靓. 兴城市头道沟小流域河道治理效果评价研究[D]. 长春:东北师范大学,2014.
- [17] 房睿. 模糊综合评判法在玛纳斯河落实河长制中的应用[J]. 水利规划与设计,2019(8):35-37.
- [18] 宋庆武. 大凌河河长制推行现状及水生态环境评估指标初探[J]. 地下水,2019,41(5):198-199.
- [19] 唐新玥,唐德善,常文倩,等. 基于云模型的区域河长制考核评价模型[J]. 水资源保护,2019,35(1):41-46.
- [20] 范嘉炜,黄锦林,袁明道,等. 基于子系统熵权模型的珠三角水资源承载力评价[J]. 水资源与水工程学报,2019,30(3):100-105.

(上接第49页)

- [6] 余江顺,金生. 成都市绕城高速公路区域雨洪模拟研究[J]. 水利规划与设计,2017(11):135-138.
- [7] XIA Xilin, LIANG Qihua, MING Xiaodong, et al. An efficient and stable hydrodynamic model with novel source term discretization schemes for overland flow and flood simulations[J]. Water Resources Research, 2017, 53(5):3730-3759.
- [8] 侯精明,郭凯华,王志力,等. 设计暴雨雨型对城市内涝影响数值模拟[J]. 水科学进展,2017,28(6):820-828.
- [9] CHEN Wenjie, HUANG Guoru, ZHANG Han, et al. Urban inundation response to rainstorm patterns with a coupled hydrodynamic model: A case study in Haidian Island, China[J]. Journal of Hydrology, 2018, 564:1022-1035.
- [10] ZHU Zhenduo, OBERG N, MORALES V M, et al. Integrated urban hydrologic and hydraulic modelling in Chicago, Illinois[J]. Environmental Modelling and Software, 2016, 77:63-70.
- [11] 韩浩,姜仁贵,解建仓,等. 基于文献计量的我国城市内涝研究进展[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(3):134-138.
- [12] 毕胜,周建中,张华杰,等. 复杂地形上非恒定浅水二维流动数值模拟[J]. 水动力学研究与进展(A辑),2013,28(1):94-104.
- [13] HUANG Yuxin, ZHANG Ningchuan, PEI Yuguo. Well-balanced finite volume scheme for shallow water flooding and drying over arbitrary topography[J]. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 2013, 7(1):40-54.
- [14] THACKER W C. Some exact solutions to the nonlinear shallow-water wave equations[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1981, 107(6):499-508.
- [15] NÉELZ S, PENDER G. Benchmarking the latest generation of 2D hydraulic modelling packages[R]. Department for Environment Food and Rural Affairs, Environment Agency, 2013.
- [16] 曹永强,杜国志,王方雄. 洪灾损失评估方法及其应用研究[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版),2006,29(3):355-358.