

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2019.02.012

# 基于云模型的滨海小流域水生态文明评价

季晓翠<sup>1</sup>, 王建群<sup>1</sup>, 傅杰民<sup>2</sup>

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098, 2. 宁波市奉化区水利规划发展管理中心, 浙江 宁波 315500)

**摘要:**针对滨海小流域完整的水系特征及其洪旱灾害频繁、水生态、水环境问题突出的特点, 构建了涵括防洪安全、供水安全、水环境、水生态、水管理、水文化 6 个方面、29 个单项指标的滨海小流域水生态文明综合评价指标体系, 提出了基于云模型的滨海小流域水生态文明综合评价方法。利用该方法对翔鹤潭江流域进行水生态文明现状综合评价, 结果表明该方法能够有效甄别滨海小流域水生态文明建设中存在的突出问题。

**关键词:**水生态文明; 滨海小流域; 综合评价; 云模型

中图分类号: TV213.4

文献标志码: A

文章编号: 1004-6933(2019)02-0074-06

**Evaluation of water ecological civilization in small coastal watershed based on cloud model** // JI Xiaocui<sup>1</sup>, WANG Jianqun<sup>1</sup>, FU Jiemin<sup>2</sup> (1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Water Conservancy Planning and Development Management Center in Fenghua District of Ningbo, Ningbo 315500, China)

**Abstract:** In view of the characteristics of the integrated water system in small coastal watershed and the prominent characteristics of frequent flood and drought disasters, water ecology and water environment problems, a comprehensive evaluation index system of water ecological civilization in small coastal watershed was established, which includes six aspects of flood control safety, water supply safety, water environment, water ecology, water management, water culture and 29 individual indexes. A comprehensive evaluation method of water ecological civilization in coastal watershed based on cloud model was proposed. This method was used to evaluate the current situation of water ecological civilization in Xianghetan River Basin. The results show that this method can effectively identify the outstanding problems in the construction of water ecological civilization in small coastal watershed.

**Key words:** water ecological civilization; small coastal watershed; comprehensive evaluation; cloud model

滨海小流域一般具有山高坡陡、源短流急、独流入海等特点, 其下游受到潮水的顶托作用, 内河洪涝水难以外排入海。目前城市化发展迅速, 很多滨海小流域都面临着山洪灾害频发、水资源短缺、水质不断恶化、生态系统功能退化等一系列生态环境问题。开展科学合理的滨海小流域水生态文明评价, 对有效识别其发展进程中的潜在问题, 及时制定切实可行的小流域综合治理方案具有重要意义。

目前, 国内对于水生态文明评价的研究已有诸多成果, 其核心内容往往集中在评价指标体系构建与综合评价方法选择两个方面<sup>[1-3]</sup>。2012 年, 山东省正式公布 DB37/T 2172—2012《山东省水生态文明城市评价标准》, 提出了水资源、水生态、水管理、

水工程、水景观 5 个方面的评价框架和划定准则, 形成了较为系统、完整的综合评价指标体系<sup>[4]</sup>。2013 年, 黄苗等<sup>[5-7]</sup>分别对水生态文明的内涵、水生态文明城市建设的主要内容、指标体系构建的原则以及指标的选取和划分等进行了深入研究, 并提出以评价状况指数为基础分级量化水生态文明程度的简单方法。2015 年, 褚克坚等<sup>[8]</sup>构建长江下游丘陵库群河网地区的水生态文明评价体系, 建立了以层次分析法确定权重、柯西分布函数计算隶属度的模糊综合评价模型对长江下游某市的水生态文明程度进行评价研究。2016 年, 任俊霖等<sup>[9]</sup>以长江经济带省会城市为基础建立了水生态文明城市评价指标体系, 应用主成分分析法对水生态文明建设水平展开测度

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0400909)

作者简介: 季晓翠(1995—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水资源规划与管理。E-mail: jixiaocui2568@163.com

通信作者: 王建群, 教授。E-mail: wangjq@hhu.edu.cn

分析;黄显峰等<sup>[10]</sup>构建马鞍山市水生态文明评价指标体系,提出了采用实数编码的加速遗传算法优化投影指标函数的投影寻踪等级评价模型。2016年4月,水利部遵循科学合理的原则划定水生态文明评价的标准,正式出台了SL/Z738—2016《水生态文明城市建设评价导则》(以下称《导则》),指出评价指标的选取应结合水安全、水生态、水环境、水文化、用水行为和监督管理等多个方面,除确立全国通用的指标外还需考虑不同区域之间差异的特色指标<sup>[11]</sup>。国外的研究虽然没有明确提出水生态文明的概念,但关于生态文明与水环境等方面的研究<sup>[12-14]</sup>对我国水生态文明评价研究具有一定的借鉴意义。

虽然水生态文明评价的研究成果已有许多,但是针对滨海小流域的研究仍存在空白,其存在的问题主要体现在:现有关于水生态文明的评价研究大多以城市作为研究单元,会割裂滨海小流域完整的水系特征;由于滨海小流域独特的地理条件及水生态文明特征,已建指标体系并不完全适用,例如水安全的概念模糊、防洪安全提醒不够等。云模型<sup>[15]</sup>作为一种能够较好兼顾数据随机性与模糊性的定性与定量转换模型,已应用于水利现代化<sup>[16]</sup>、河湖健康<sup>[17]</sup>、水安全<sup>[18]</sup>等多类评价研究,但鲜见其应用于水生态文明综合评价。本文针对滨海小流域独特的水生态文明建设特征,建立滨海小流域水生态文明综合评价指标体系,并提出基于云模型的综合评价方法。

## 1 评价指标体系

### 1.1 水生态文明的内涵

水生态文明是人类遵循人、水、自然、社会和谐相处的理念产生的物质和精神两个层面成果的综合,体现人水和谐的程度和文明进步的状态。水生态文明的内涵包括人水和谐、节约水资源、保护水生态、兼顾经济社会发展等4个方面<sup>[1]</sup>。水生态文明的核心是人水和谐,人水和谐的发展理念表明水生态文明的关注点不再局限于水生态系统这一载体自身的稳定,还包括水生态系统与经济、社会系统的和谐共存<sup>[7]</sup>,仅将其简单理解为保护水生态是片面的。

### 1.2 评价指标体系及分级标准

滨海小流域因其特殊的地理条件,具有独特的水生态文明建设的特征,目前已有的水生态文明评价指标体系中,对滨海小流域防洪安全的考虑不够,对山洪灾害防治措施也没有评价<sup>[3,5-7]</sup>。而《导则》从水安全、水生态、水环境、水文化、用水行为和监督

管理等6方面构建了城市水生态文明建设的效果评价指标体系,其中的水安全包括防洪排涝达标率和供水达标率等指标。由于滨海小流域洪涝灾害频发、水资源供需矛盾严峻,因此将防洪安全与供水安全作为评价指标体系的两个子系统,可使评价结果更为客观。另外,滨海小流域社会经济发展迅速、开发强度大、水生态环境形势严峻,因此水环境与水生态也是水生态文明评价的重点对象。基于此,本文遵循客观性、独立性、系统性、可操作性和层次性的原则,构建了滨海小流域水生态文明综合评价指标体系,包括防洪安全、供水安全、水环境、水生态、水文化及水管理6个方面29项单项指标(表1)。根据防洪和区域除涝标准、水生态文明城市建设评价导则、国家和地方的发展规划纲要中发展规模以及配套的各种需求指标和参数等,参考国内外已有的研究成果<sup>[5-8]</sup>,结合历史资料与实地考察调研结果,确定各评价指标分级标准,将滨海小流域的水生态文明状况划分为I(优)、II(良)、III(中)、IV(差)、V(劣)5个等级,并确定了分级标准(表2)。

表1 滨海小流域水生态文明评价指标体系及指标权重

滨海小流域水生态文明评价指标体系 A	防洪安全 $B_1$ (0.1429)	防洪堤达标率 $C_1$ (0.4901)
		防洪除涝达标率 $C_2$ (0.2488)
		山洪灾害防治措施 $C_3$ (0.2611)
	供水安全 $B_2$ (0.1429)	管网供水覆盖率 $C_4$ (0.3223)
		饮用水水质安全比例 $C_5$ (0.2106)
		饮用水供水保证率 $C_6$ (0.2106)
工业供水保证率 $C_7$ (0.1477)		
农业供水保证率 $C_8$ (0.1088)		
水环境 $B_3$ (0.2142)	城区水质达标率 $C_9$ (0.1765)	
	水质优良度 $C_{10}$ (0.2353)	
	水功能区水质达标率 $C_{11}$ (0.2941)	
	废水污水达标处理率 $C_{12}$ (0.2941)	
水生态 $B_4$ (0.2857)	水系连通率 $C_{13}$ (0.1557)	
	河湖生态护岸比例 $C_{14}$ (0.1002)	
	水域空间率 $C_{15}$ (0.1557)	
	城区透水面积率 $C_{16}$ (0.0570)	
	水土流失治理程度 $C_{17}$ (0.1557)	
	生态用水保证率 $C_{18}$ (0.1557)	
水文化 $B_5$ (0.0714)	滨海湿地保留率 $C_{19}$ (0.2200)	
	涉水风景区比例 $C_{20}$ (0.3333)	
	水利工程景观比例 $C_{21}$ (0.3333)	
	水生态文明建设公众认知度 $C_{22}$ (0.3334)	
	用水总量控制程度 $C_{23}$ (0.2239)	
	水资源监控能力指数 $C_{24}$ (0.0995)	
	万元工业增加值用水量相对值 $C_{25}$ (0.1177)	
水管理 $B_6$ (0.1429)	灌溉水有效利用系数 $C_{26}$ (0.0995)	
	生活节水器具普及率 $C_{27}$ (0.1177)	
	公共供水管网漏损率 $C_{28}$ (0.1177)	
	水生态环境质量公众满意度 $C_{29}$ (0.2240)	

表2 滨海小流域水生态文明综合评价指标分级标准

评价等级	准则层	指标层阈值								
	阈值	C <sub>1</sub> /%	C <sub>2</sub> /%	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> /%	C <sub>5</sub> /%	C <sub>6</sub> /%	C <sub>7</sub> /%	C <sub>8</sub> /%	C <sub>9</sub> /%
I级	[90,100]	[90,100]	[90,100]	[90,100]	[90,100]	[97,100]	[95,100]	[90,100]	[85,100]	[80,100]
II级	[80,90)	[75,90)	[75,90)	[80,90)	[80,90)	[95,97)	[90,95)	[85,90)	[80,85)	[70,80)
III级	[60,80)	[60,75)	[60,75)	[60,80)	[70,80)	[90,95)	[85,90)	[80,85)	[75,80)	[60,70)
IV级	[30,60)	[40,60)	[40,60)	[30,60)	[60,70)	[80,90)	[80,85)	[70,80)	[70,75)	[50,60)
V级	[0,30)	[0,40)	[0,40)	[0,30)	[0,60)	[0,80)	[0,80)	[0,70)	[0,70)	[0,50)

  

评价等级	指标层阈值									
	C <sub>10</sub> /%	C <sub>11</sub> /%	C <sub>12</sub> /%	C <sub>13</sub> /%	C <sub>14</sub> /%	C <sub>15</sub> /%	C <sub>16</sub> /%	C <sub>17</sub> /%	C <sub>18</sub> /%	C <sub>19</sub> /%
I级	[90,100]	[90,100]	[95,100] (且 排放标准 全部达A级)	[75,100]	[90,100]	[30,100]	[40,100]	[90,100]	[90,100]	>100
II级	[75,90)	[75,90)	[95,100]	[65,75)	[70,90)	[20,30)	[35,40)	[75,90)	[80,90)	[90,100]
III级	[60,75)	[60,75)	[90,95)	[55,65)	[50,70)	[10,20)	[30,35)	[60,75)	[70,80)	[80,90)
IV级	[40,60)	[50,60)	[85,90)	[40,55)	[30,50)	[6,10)	[25,30)	[40,60)	[60,70)	[70,80)
V级	[0,40)	[0,50)	[0,85)	[0,40)	[0,30)	[0,6)	[0,25)	[0,40)	[0,60)	[0,70)

  

评价等级	指标层阈值									
	C <sub>20</sub> /%	C <sub>21</sub> /%	C <sub>22</sub> /%	C <sub>23</sub> /%	C <sub>24</sub> /%	C <sub>25</sub> /%	C <sub>26</sub> /%	C <sub>27</sub> /%	C <sub>28</sub> /%	C <sub>29</sub>
I级	[2,100]	[80,100]	[90,100]	[95,100]	[90,100]	[0,25]	[70,100]	[100,90]	[0,8]	[90,100]
II级	[1.5,2)	[60,80)	[80,90)	[80,95)	[75,90)	(25,50)	[60,70)	[80,90)	(8,12]	[80,90)
III级	[1,1.5)	[40,60)	[70,80)	[60,80)	[60,75)	(50,100]	[50,60)	[70,80)	(12,18]	[60,80)
IV级	[0.5,1)	[20,40)	[60,70)	[40,60)	[40,60)	(100,150]	[45,50)	[60,70)	(18,25]	[30,60)
V级	[0,0.5)	[0,20)	[0,60)	[0,40)	[0,40)	>150	[0,45)	[0,60)	(25,100]	[0,30)

1.3 指标权重确定

指标权重确定通常采用的方法有主观赋权(如专家咨询法等)和客观赋权(如熵权法等)两类。层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)是将决策问题的有关影响因素分层,通过每一层元素之间的两两比较,对决策者的主观判断进行量化并进行定量与定性分析的决策方法<sup>[19]</sup>。考虑到客观赋权需要足够样本数据,且不能体现决策者的主观意识,综合各种方法的可操作性与实用性,本文采用应用广泛的基于专家咨询的层次分析法确定权重。通过专家咨询构建判断矩阵,分析求得各指标权重,然后对其进行一致性检验确定最终结果。结果见表1括号中的数据。

2 云模型评价方法

2.1 云模型理论

设集合  $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , 称  $U$  为一个论域,  $T$  是  $U$  上的定性概念, 任意元素  $x_i \in U$ , 均有随机数  $\mu_T(x)$  与之对应, 即  $x$  对  $T$  的隶属度, 称为云。其中每一个  $x_i$  对应一个云滴  $(x_i, \mu_i)$ , 即  $T$  的一次数量体现<sup>[20]</sup>。云模型定性概念  $T$  的定量特性用3个数字特征值来表示, 分别为期望  $E_x$ 、熵  $E_n$  和超熵  $H_e$ 。  $E_x$  是云滴分布的中心, 反映数据的整体特征;  $E_n$  反映  $T$  的不确定性, 代表云的跨度;  $H_e$  反映  $E_n$  的不确定性, 代表云的厚度<sup>[21]</sup>。云模型通过云发生器实现定性定量之间的转化, 常见的云发生器有逆

向云、正向云以及条件云发生器<sup>[22]</sup>。正向云是将  $(E_x, E_n, H_e)$  转换为系列云滴  $(x_i, \mu_i)$  的定性到定量的发生器; 逆向云是将初始数据转换成  $(E_x, E_n, H_e)$  的定量到定性的发生器; 条件云又包括  $X$  和  $Y$  条件云, 也是定性到定量的转换, 与正向云的区别在于条件云需另外设定特定的输入条件,  $X$  和  $Y$  条件云的输入条件分别为  $x = x_0$  和  $y = \mu_i$ 。

2.2 基于云模型的综合评价

基于云模型的综合评价过程具体如下: ①确定指标体系与权重; ②确定各指标评价标准  $S = [S_{ij, \min}, S_{ij, \max}]$ ; ③依据评价对象状况确定指标值  $X(x = x_i)$ ; ④计算云的数字特征值  $(E_{x,ij}, E_{n,ij}, H_e)$ <sup>[26]</sup>; ⑤计算隶属度; ⑥确定评价等级。

云的数字特征值计算公式为

$$\begin{cases} E_{x,ij} = \frac{S_{ij, \max} + S_{ij, \min}}{2} \\ E_{n,ij} = \frac{S_{ij, \max} - S_{ij, \min}}{6} \\ H_e = C \end{cases} \quad (1)$$

式中  $S_{ij, \max}$ 、 $S_{ij, \min}$  分别为第  $i$  指标在第  $j$  等级中的上下限;  $E_{x,ij}$  为第  $i$  指标在  $j$  等级中的期望;  $E_{n,ij}$  为第  $i$  指标在  $j$  等级中的熵;  $H_e$  为超熵, 一般由试验得到或依据经验取值。

已知评价指标值  $X(x = x_i)$  及计算所得的云的3个数字特征值  $(E_{x,ij}, E_{n,ij}, H_e)$ , 选择  $X$  条件云计算隶属度, 计算步骤如下:

步骤 1: 求正态随机数  $E'_{n,ij}$ :

$$E'_{n,ij} = \text{randn}(1)H_e + E_{n,ij} \quad (2)$$

步骤 2: 计算指标隶属度  $\mu_{ij}(x)$ :

$$\mu_{ij}(x) = e^{-\frac{(x_i - E_{x,ij})^2}{2E_{n,ij}^2}} \quad (3)$$

步骤 3: 重复  $m$  次(本文取  $m = 1000$ ), 取平均, 即为最终指标隶属度。

为避免传统的模糊综合评价法应用最大隶属度准则造成的评价结果的“非此亦彼性”, 采用级别特征值法确定评价等级, 计算步骤如下:

步骤 1: 确定级别特征值  $B_j$ , 以 I (优)、II (良)、III (中)、IV (差)、V (劣) 5 个等级的综合评价阈值上下限的均值为每一级别的特征值:

$$B_j = \frac{S_{j,\max} + S_{j,\min}}{2} \quad (4)$$

式中  $S_{j,\max}$ 、 $S_{j,\min}$  分别综合评价标准中第  $j$  评价等级中的上下限。

步骤 2: 确定各指标评价值  $Z_i$ , 以级别特征值与各指标隶属度的乘积之和表示:

$$Z_i = \sum_{j=1}^5 [B_j \mu_{ij}(x)] \quad (5)$$

步骤 3: 确定准则层及整体评价等级, 指标评价值与权重加权平均计算各子系统及综合评价值  $Z$ , 结合分级标准划分评价等级。

$$Z = \sum_{i=1}^n (f_i Z_i) \quad (6)$$

式中  $f_i$  为各指标权重。

### 3 实例应用

#### 3.1 区域概况

翔鹤潭江流域是位于浙江省宁波市奉化区境内的一个典型的滨海小流域。翔鹤潭江发源于奉

化区裘村镇北部的白岩山, 河道自北向南流入象山港海湾, 流域出口断面有集挡潮与排涝于一体的横江闸工程, 横江闸以上流域面积 49.23 km<sup>2</sup>。翔鹤潭江流域地形属于浙东盆地低山地区和沿海丘陵平原的交界地区, 地处港湾半山区, 东、西、北为低山, 南为狭长谷口, 地势向南倾斜。翔鹤潭江流域范围涵盖裘村镇中心城区及乡村, 涉及 13 个社区或乡村。流域地处东南沿海, 属于亚热带季风气候, 年平均降水量为 1500.9 mm 且年内分配不均, 年平均气温为 16.6℃。流域内共有 9 座水库, 其中 2 座大型水库(岭下、银丰), 7 座小(II)型水库, 库容共 322.3 万 m<sup>3</sup>, 集水面积 9.2 km<sup>2</sup>, 灌溉总面积 11472 hm<sup>2</sup>。翔鹤潭湿地是流域内最大的湿地, 占地约 5000 hm<sup>2</sup>, 受湿地内部农业开发及水产养殖的影响, 其原始属性正逐渐消失。

#### 3.2 水生态文明综合评价

应用本文所提出的滨海小流域水生态文明综合评价方法对翔鹤潭江流域 2016 年的水生态文明状况进行综合评价。所用指标涉及的有关数据来源于实地踏勘、采样分析、调查、水资源公报、有关规划报告等。按照综合评价方法步骤进行计算,  $H_e$  根据经验取 0.01, 得到 2016 年翔鹤潭江流域水生态文明评价指标值及各指标隶属度见表 3, 综合评价结果见表 4。

由表 4 可见, 2016 年翔鹤潭江流域的水生态文明综合评价值为 64.96, 依据表 2 的指标分级标准, 翔鹤潭江流域水生态文明整体状况一般, 最终等级为 III 级。准则层各评价值从高到低依次为防洪安全(81.32)、水管理(79.88)、供水安全(73.77)、水生态(64.86)、水文化(55.84)、水环境(41.40), 其中防洪安全状况良好, 为 II 级; 供水安全、水生态及水

表 3 2016 年翔鹤潭江流域水生态文明现状评价指标值及隶属度

指标	指标值	不同等级的指标隶属度					指标	指标值	不同等级的指标隶属度				
		I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级			I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
$C_1$	75%	0	0.5	0.5	0	0	$C_{16}$	33%	0.0013	0	0.9987	0	0
$C_2$	85%	0	1	0	0	0	$C_{17}$	88%	0.0019	0.9981	0	0	0
$C_3$	85	0	1	0	0	0	$C_{18}$	100%	1	0	0	0	0
$C_4$	71%	0	0	0.9677	0.0286	0.0037	$C_{19}$	10%	0	0	0	0	1
$C_5$	99.16%	1	0	0	0	0	$C_{20}$	0.5%	0	0	0.5	0.5	0
$C_6$	90%	0	0.4814	0.4815	0	0.0371	$C_{21}$	10%	0	0	0	0	1
$C_7$	100%	1	0	0	0	0	$C_{22}$	95%	1	0	0	0	0
$C_8$	38%	0	0	0	0	1	$C_{23}$	85%	0	0.9999	0.0001	0	0
$C_9$	100%	1	0	0	0	0	$C_{24}$	45%	0	0	0	0.9973	0.0027
$C_{10}$	61%	0	0	0.8873	0.1127	0	$C_{25}$	75.5%	0	0	1	0	0
$C_{11}$	0	0	0	0	0	1	$C_{26}$	70%	0.4368	0.5632	0	0	0
$C_{12}$	41.1%	0	0	0	0	1	$C_{27}$	97.1%	1	0	0	0	0
$C_{13}$	94%	1	0	0	0	0	$C_{28}$	12%	0.0114	0	0.4825	0.5061	0
$C_{14}$	0	0	0	0	0	1	$C_{29}$	96	1	0	0	0	0
$C_{15}$	26.7%	0.0076	0.9924	0	0	0							

表4 2016年翔鹤潭江流域水生态文明综合评价结果

准则层	评价价值	评价等级
防洪安全	81.32	Ⅱ级
供水安全	73.77	Ⅲ级
水环境	41.40	Ⅳ级
水生态	64.86	Ⅲ级
水文化	55.84	Ⅳ级
水管理	79.88	Ⅲ级
综合	64.96	Ⅲ级

管理整体状况一般,为Ⅲ级;水环境、水文化问题最为严重,为Ⅳ级。由表3可见,供水安全方面的农业供水保证率、水环境方面的水功能区水质达标率与废污水达标处理率、水生态方面的河湖生态护岸比例与滨海湿地保留率以及水文化方面的水利工程景观比例均属Ⅴ级,水管理方面的水资源监控能力指数及公共供水管网漏损率为Ⅳ级。结合相关规划报告与实地踏勘成果,该结果与实际情况基本相符。

## 4 结 语

针对滨海小流域独特的水生态文明建设特点,提出了滨海小流域水生态文明综合评价指标体系和基于云模型的综合评价方法,较为全面地考虑了滨海小流域的完整的水系特征和水生态文明建设特点,解决了已有指标体系水安全内涵界定不清的问题,突出了防洪、除涝和山洪灾害防治等方面的评价。基于云模型的水生态文明综合评价方法,可以兼顾评价的随机性与模糊性,尤其对于阈值附近数据的等级划分,与传统方法对比其优势更为明显。翔鹤潭江滨海小流域的实例分析表明,提出的综合评价方法能够有效甄别水生态文明建设的潜在问题,为滨海小流域或其他同类区域的研究提供了新的手段。

## 参考文献:

[1] 左其亭. 水生态文明建设几个关键问题探讨[J]. 中国水利, 2013(4): 1-3. (ZUO Qiting. Discussions on key issues of water ecological civilization construction [J]. China Water Resources, 2013(4): 1-3. (in Chinese))

[2] 左其亭, 罗增良. 水生态文明定量评价方法及应用[J]. 水利水电技术, 2016, 47(5): 94-100. (ZUO Qiting, LUO Zengliang. Quantified evaluation method of water eco-civilization and its application [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2016, 47(5): 94-100. (in Chinese))

[3] 崔东文, 金波. 基于随机森林回归算法的水生态文明综合评价[J]. 水利水电科技进展, 2014, 34(5): 56-60. (CUI Dongwen, JIN Bo. Comprehensive evaluation of water ecological civilization based on random forests

regression algorithm [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2014, 34(5): 56-60. (in Chinese))

[4] 高华, 曹先玉, 蔡保国. 山东省水生态文明城市评价体系研究[J]. 中国水利, 2013(10): 8-10. (GAO Hua, CAO Xianyu, CAI Baoguo. Study on evaluation system for water eco-civilization city in Shandong Province [J]. China Water Resources, 2013(10): 8-10. (in Chinese))

[5] 黄茁. 水生态文明建设的指标体系探讨[J]. 中国水利, 2013(6): 17-19. (HUANG Zhuo. Discussions on index system of water ecological civilization [J]. China Water Resources, 2013(6): 17-19. (in Chinese))

[6] 王建华, 胡鹏. 水生态文明评价体系研究[J]. 中国水利, 2013(15): 39-42. (WANG Jianhua, HU Peng. Studies on evaluation system of water ecological civilization [J]. China Water Resources, 2013(15): 39-42. (in Chinese))

[7] 唐克旺. 水生态文明的内涵及评价体系探讨[J]. 水资源保护, 2013, 29(4): 1-4. (TANG Kewang. Discussion on concept and assessment system of aquatic ecological civilization [J]. Water Resources Protection, 2013, 29(4): 1-4. (in Chinese))

[8] 褚克坚, 仇凯峰, 贾永志, 等. 长江下游丘陵库群河网地区城市水生态文明评价指标体系研究[J]. 四川环境, 2015, 34(6): 44-51. (CHU Kejian, QIU Kaifeng, JIA Yongzhi, et al. Evaluation indicator system of city water ecological civilization in reservoir and river network region in hilly areas of the lower Yangtze River [J]. Sichuan Environment, 2015, 34(6): 44-51. (in Chinese))

[9] 任俊霖, 李浩, 伍新木, 等. 基于主成分分析法的长江经济带省会城市水生态文明评价[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(10): 1537-1544. (REN Junlin, LI Hao, WU Xinmu, et al. Assessment of 11 provincial capitals' water ecological civilization of the Yangtze Economic Belt on the principal component [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25(10): 1537-1544. (in Chinese))

[10] 黄显峰, 贾永乐, 方国华. 基于投影寻踪法的城市水生态文明建设评价[J]. 水资源保护, 2016, 32(6): 117-122. (HUANG Xianfeng, JIA Yongle, FANG Guohua. Evaluation of urban aquatic ecological civilization construction based on projection pursuit method [J]. Water Resources Protection, 2016, 32(6): 117-122. (in Chinese))

[11] 石秋池. 《水生态文明城市建设评价导则》解读[J]. 水资源保护, 2016, 32(5): 154. (SHI Qiuchi. Unscramble of evaluation guide of water ecological civilization construction [J]. Water Resources Protection, 2016, 32(6): 117-122. (in Chinese))

[12] Department of the Environment of UK. Indicators of Sustainable Development for the United Kingdom [M]. London: HNSO, 1994.

[13] SUN H, WANG S, HAO X. An improved analytic

- hierarchy process method for the evaluation of agricultural water management in irrigation districts of north China [J]. Agricultural Water Management, 2017, 179: 324-337
- [14] DEFOREST D K, BRIX K V, TEAR L M, et al. Multiple linear regression models for predicting chronic aluminum toxicity to freshwater aquatic organisms and developing water quality guidelines [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2018, 37(1): 80-90.
- [15] 李德毅, 孟海军, 史雪梅. 隶属云和隶属云发生器 [J]. 计算机研究与发展, 1995(6): 15-20. (LI Deyi, MENG Haijun, SHI Xuemei. Membership clouds and membership cloud generators [J]. Computer Research & Development, 1995(6): 15-20. (in Chinese))
- [16] 黄显峰, 刘展志, 方国华. 基于云模型的水利现代化评价方法与应用 [J]. 水利水电科技进展, 2017, 37(6): 54-61. (HUANG Xianfeng, LIU Zhanzhi, FANG Guohua. Evaluation and application of water conservancy modernization index system based on a cloud model [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2017, 37(6): 54-61. (in Chinese))
- [17] 耿芳, 董增川, 徐伟. 基于云模型的黑龙江上中游河流健康评价 [J]. 水资源保护, 2016, 32(6): 131-135. (GENG Fang, DONG Zengchuan, XU Wei. River health assessment of upper and middle reaches of Heilongjiang River based on cloud model [J]. Water Resources Protection, 2016, 32(6): 131-135. (in Chinese))
- [18] 乔丹颖, 刘凌, 闫峰. 基于云模型的中运河水安全评价 [J]. 水资源保护, 2015, 31(2): 26-29. (QIAO Danying, LIU Ling, YAN Feng. Assessment on water security of Zhong Canal based on cloud model [J]. Water Resources Protection, 2015, 31(2): 26-29. (in Chinese))
- [19] 刘传旺, 吴建平, 任胜伟, 等. 基于层次分析法与物元分析法的水安全评价 [J]. 水资源保护, 2015, 31(3): 27-32. (LIU Chuanwang, WU Jianping, REN Shengwei, et al. Water safety assessment based on analytic hierarchy process and matter element analysis method [J]. Water Resources Protection, 2015, 31(3): 27-32. (in Chinese))
- [20] 王贺, 刘高峰, 王慧敏. 基于云模型的城市极端雨洪灾害预警研究 [J]. 水利经济, 2014, 32(4): 59-62. (WANG He, LIU Gaofeng, WANG Huimin. Early warning of urban Extreme Rainstorm Disaster Based on cloud model [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2014, 32(4): 59-62. (in Chinese))
- [21] 苏阳悦, 纪昌明, 张验科, 等. 基于云模型的水资源管理综合评价方法: 以惠州市为例 [J]. 中国农村水利水电, 2017(12): 53-58. (SU Yangyue, JI Changming, ZHANG Yanke, et al. Comprehensive evaluation method of water resources management based on cloud model: taking Huizhou as an example [J]. China Rural Water and Hydropower, 2017(12): 53-58. (in Chinese))
- [22] 付斌, 李道国, 王慕快. 云模型研究的回顾与展望 [J]. 计算机应用研究, 2011, 28(2): 420-426. (FU Bin, LI Daoguo, WANG Mukuai. Review and prospect on research of cloud model [J]. Application Research of Computers, 2011, 28(2): 420-426. (in Chinese))

(收稿日期: 2018-05-17 编辑: 王芳)

## 欢迎订阅《水资源保护》杂志

中国科学引文数据库来源期刊 中文核心期刊 中国科技核心期刊

ISSN 1004-6933 CN 32-1356/TV

《水资源保护》是由河海大学和中国水利学会环境水利专业委员会联合主办的科技期刊。本刊针对我国水资源短缺、水环境污染、水生态恶化等突出问题, 探讨水资源管理、水环境治理、水生态修复等理论和技术, 主要栏目有“水资源”“水环境”“水生态”, 并根据需要开设“特约专家论坛”“水事观察”等栏目。

《水资源保护》是中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊、中文核心期刊、中国科技核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊, 已被美国化学文摘(CA)数据库、美国《剑桥科学文摘》(CSA)数据库、波兰哥白尼索引(IC)数据库等收录和引用, 长期以来一直都是水利界和环保部门备受关注的重点期刊, 2012年、2014年连续被教育部科技司授予“中国高校特色科技期刊”称号; 2016年被中国高校科技期刊研究会评为“中国高校优秀科技期刊”, 被江苏省科技期刊学会评为“江苏十佳精品期刊”; 2017年被评为华东地区优秀期刊。

《水资源保护》主要读者对象为全国从事与水资源保护工作有关的工程技术人员、科研人员、管理人员以及大专院校师生, 邮发代号: 28-298, 双月刊, 96页, 20元/册, 每逢单月20日出版。可向当地邮局订阅, 亦可在本刊网站下载征订单订阅。

编辑部地址: 南京市西康路1号

邮政编码: 210098

电话/传真: (025) 83786642

E-mail: bh1985@vip.163.com; bh@hhu.edu.cn

http://jour.hhu.edu.cn/szybh/ch/index.aspx