

# 基于层次-熵权法的江苏省沿海垦区水生态效应评价

陈建明<sup>1,2</sup>,程细英<sup>1</sup>,李美枫<sup>1,2</sup>

(1. 河海大学商学院,江苏 南京 211100; 2. 河海大学水利经济研究所,江苏 南京 211100)

**摘要:**水生态效应评价能够为沿海垦区合理开发提供科学决策依据。通过分析水生态效应的影响因素,梳理并构建包含社会经济子系统和水生态系统子系统的水生态效应综合评价体系及模型,运用层次分析法和熵权法主客观综合赋权,选取沿海垦区范围内的东台市、射阳县和大丰区为典型进行水生态效应评价实证分析,分析了水生态效应评价结果,提出了发挥沿海垦区自然资源优势、优化产业布局、提高水生态效应等对策建议。

**关键词:**沿海垦区;水生态;效应评价;层次分析法;熵权法

**中图分类号:**F407.9

**文献标志码:**A

**文章编号:**1003-9511(2020)02-0043-06

2009年6月10日,国务院常务会议通过了《江苏沿海地区发展规划》,首次将江苏沿海开发列入国家发展战略,融入国家“一带一路”的建设布局。经过多年的努力,江苏沿海垦区开发开放效果日益凸显,然而不合理的产业开发和农业面源污染导致该区域生态系统退化,水环境逐渐恶化,生物的多样性逐渐降低,存在开发层次不高、利用方式单一、资源利用效率低等问题。

水生态效应是人类经济活动引发的水生态系统和经济系统本身及其要素的变化,它是通过人类活动产生的影响以及作用客体的响应等方面为侧重点来具体体现的。这些变化可能具有正或负的性质,正在或者将能够影响到区域内生产的经济成效。水生态效应评价能够为沿海垦区合理开发提供决策依据,具有重要意义<sup>[1]</sup>。

笔者通过梳理水生态效应的评价指标体系,阐述水生态效应的影响因素,利用层次分析法和熵权法对通榆河以东、灌溉总渠以南、通扬运河以北的沿海垦区范围内的东台市、射阳县和大丰区进行评价分析并提出建议。

## 1 水生态效应研究现状

国外关于水生态效应评价的研究始于20世纪。80年代以前,研究主要集中在大坝等大型水利工程建设,分析工程的社会经济效益,或是单独研究大

型水利工程对水生生物的丰富情况以及水生生物栖息地状况、水量、径流等方面的影响<sup>[2-6]</sup>,并没有从水生态系统整体出发将社会经济效应和水生态状况结合起来。80至90年代,出于加拿大政府生态所有权立法工作的需要,学者们通过研究最终确立了关于水利工程建设在环境和生态方面的影响评价机制,法律要求需对工程、环境和生态进行综合评价<sup>[7]</sup>。90年代以来,随着遥感技术<sup>[8]</sup>和GIS技术的不断完善和推广,将该技术应用于大型水利工程的生态效应研究成为了新的发展趋势。在这些技术的支持下,学界提出了构建水生态效应评价指标体系的研究,PSR模型<sup>[9]</sup>为其代表性成果。PSR模型是一种源于环境指标的压力(Pressure)—状态(State)—响应(Response)概念模型,在PSR模型框架内,某一类问题,可以由3个不同但又相互联系的指标类型来表达,分别为压力指标、状态指标、响应指标。压力指标反映人类活动给环境造成的负荷,状态指标表征环境质量、自然资源与生态系统的状况,响应指标表征人类面临的环境问题所采取的对策与措施。PSR模型从人类系统与环境系统相互作用、相互影响这一角度出发,对指标进行分类与组织,具有较强的系统性。建立基于PSR模型的评价指标体系,能够比较明确地反映出生态环境变化的因果关系,从而有助于决策者采取合适的技术手段和行政管理措施,减少生态环境的破坏和加速恢复

基金项目:江苏省水利重大技术攻关项目(2017011)

作者简介:陈建明(1966—),男,副研究员,主要从事水利经济、工程管理研究。E-mail:cjm666@163.com

重建。生态足迹<sup>[10-11]</sup>是另一种表征水利工程对生态环境影响程度的方法。生态足迹法是由加拿大生态经济学家 Rees<sup>[12]</sup>于1992年提出的一种衡量可持续发展程度的方法。

我国对于水生态效应评价的研究,从水利工程对鱼类的影响开始<sup>[13]</sup>,逐渐发展到工程对包括水生生物、水文、水质的水环境等整个生态系统的研究<sup>[14]</sup>,现在的研究更涉及人类活动的影响;调研形式也从原来人工实地调查的原始方法发展到如今的科技调研,包括成熟的遥感技术以及全面真实的地理信息系统。

在水利工程生态效应评价工作方面,相震等<sup>[15]</sup>在研究中主要是利用生态系统的不稳定性和生态学理论,开始对个体因子评价进行定量探索。郭乔羽等<sup>[16]</sup>在研究中以拉西瓦水电站为研究对象,对工程区域的植物生命力、生物量、生态格局和生物多样性的区域生态影响进行定性和定量分析。常本春等<sup>[17]</sup>在借鉴国际先进压力状态响应的生态学视角PSR模型的基础上,构建了水利水电工程水生态效应评价指标体系,选定水生态效应评价指标集,确定具体评价指标标准,并运用于实际水电工程中表明指标体系的适用性。华坚等<sup>[18]</sup>将经济、社会、生态三者视为整体,构建与水利工程系统之间的评价体系并探讨复合系统及各子系统之间的协调度问题。

## 2 水生态效应评价指标体系构建

### 2.1 水生态效应评价的内容

水生态效应评价是对社会经济发展中水生态状况的综合影响评估。水生态效应评价的工作目标决定了其评价内容。水生态效应评价应着重关注实施区域自然资源可持续利用和生态环境质量的影响,包括经济和生态两个方面。水生态效应评价指标体系应具有以下3个主要功能:①描述水生态系统的状况;②系统反映水生态效应的现状,使决策者能够清楚地了解系统的现状;③在现状的基础上描述和反映系统在某个规划期间各方面的变化趋势。

水生态效应研究面临着涉及社会、经济和水生态的复杂系统。在这个体系中,既有自然因素,又有社会、经济、文化和传统因素,社会进步促进了经济发展,经济发展造成了水环境污染、水生态破坏;水环境恶化、水资源浪费等引起的水生态破坏,改善水生态环境能够促进经济发展和社会进步<sup>[19]</sup>。

### 2.2 指标体系的设计与筛选

水生态效应不仅包含水生态系统自身的变化,还包括这些变化带来的区域内生产的经济成效。因

此,水生态效应评价体系应该是由社会经济子系统和水生态系统子系统相互耦合形成的一个复杂系统。水生态系统一般包括水资源、水环境和水生生物三方面,与水生态相关的社会经济系统包括水利用、水管理、水文化和水经济四方面。

建立水生态效应评价指标体系应与评价对象的特点紧密结合,提高可操作性。因此,在指标筛选过程中,采用频率统计、相关分析方法、理论分析方法和专家咨询方法筛选,指标符合科学和系统综合性原则。水生态效应涉及多指标、多层次,且相对复杂,依据整体性、科学合理性、代表性、简明可操作性及适用性的原则,构造评价指标体系,采用层次分析法和熵权法对沿海垦区水生态效应评价。

水生态效应评价指标依据以下3个特征选取:①应能描述水生态系统的状况;②它应该能够描述和反映系统在某个规划期间各个方面的变化趋势,即在现状的基础上,反映了系统的未来发展方向;③它应该反映系统整体水生态效应的现状,使决策者能够清楚地了解系统的现状。

具体可以分为目标层(江苏沿海地区水生态效应)、准则层A(水生态子系统、社会经济子系统)、因子层B(水生态子系统包含水资源、水生生物、水环境等3个因子,社会经济子系统包含水利用、水管理、水文化、水经济等4个因子)、指标层C(包含人均水资源量、水功能区达标率、水生生物丰富度、万元工业增加值用水量、污水处理率、水生态文明认知度和满意度、水产渔业价值等27个指标),详见表1。

### 2.3 数据采集

研究对象选取通榆河以东、灌溉总渠以南、通扬运河以北的沿海垦区,在此范围内选取东台市、射阳县和大丰区为典型垦区,采集3个区域2015—2017年的指标数据。

通过对实地调查、文献研究、专家打分3种方式获得的指标数据汇总后,得到水生态效应评价的27个三级指标数据。

## 3 研究区概况

### 3.1 研究区地理概况

东台市位于江苏省沿海中部,东与黄海相连,南与南通市接壤,西与泰州市毗邻,北与盐城市交界;射阳县位于江苏盐阜平原东部,东临黄海、西接建湖、阜宁县、南邻亭湖区、大丰区,北部偏东隔苏北灌溉总渠、偏西隔射阳河与滨海县相望;大丰区属江苏省盐城市市辖区,地处黄海之滨,南与东台市接壤,西与兴化市毗邻,北与盐城市亭湖区交界<sup>[20]</sup>。

表1 水生态效应评价指标

目标	一级指标 (准则层 A)	二级指标 (因子层 B)	三级指标(指标层 C)
水生态效应综合评价体系	水生态系统(A1)	水资源(B1)	人均水资源量(C1)
			年均缺水量(C2)
			人均供水量(C3)
		水环境(B2)	地表水开发利用效率(C4)
			地下水开采系数(C5)
	水生生物(B3)	水环境(B2)	水功能区达标率(C6)
			水面湿地面积(C7)
		水生生物(B3)	水土流失治理率(C8)
			水生生物栖息地状况指数(C9)
			水生生物丰富度(C10)
社会经济系统(A2)	水利用(B4)	用水总量控制红线达标率(C11)	
		万元工业增加值用水量(C12)	
		人均缺水量(C13)	
		用水弹性系数(C14)	
		灌溉水有效利用系数(C15)	
	水管理(B5)	入河污染物总量达标率(C16)	
		用水计量率(C17)	
		取水许可实施率(C18)	
		排污口监控率(C19)	
		污水处理率(C20)	
水文化(B6)	水管理(B5)	水资源管理考核合格率(C21)	
		水域岸线规划与实施情况(C22)	
	水文化(B6)	水生态文明认知度和满意度(C23)	
		水文化保护度(C24)	
水经济(B7)	水经济(B7)	单位水GDP产出(C25)	
		休闲旅游价值(C26)	
		水产渔业价值(C27)	

### 3.2 研究区水资源概况

#### 3.2.1 水资源量概况

东台市、射阳县和大丰区的水资源现状主要表现为以下3个特点:一是水资源时空分布不均,全年降雨量近70%集中在6~9月,汛期上游来水量大,常造成本地降水与上游洪水相遇,大量洪水弃流入海;非汛期又因降水量少、用水量大、上游无来水,造成用水紧张;二是人均水资源量极低;三是供需缺口大。

#### 3.2.2 水资源利用概况

东台市、大丰区和射阳县各年用水总量基本持平,其中农业灌溉占比最大。大丰区和射阳县人均用水量高于全市平均水平。在万元地区生产总值用水量方面,射阳县高于全市平均水平,东台市和全市基本持平,大丰区略低。射阳县万元工业增加值用水量高于全市平均值,其他略低于全市平均值。

#### 3.2.3 水资源质量概况

盐城市共监测省级水功能区65条主要河流、123个水质断面。经常为Ⅱ、Ⅲ类水质较好的主要河段为灌溉总渠、废黄河、泰东河、新团河等,经常为Ⅴ、劣Ⅴ类污染严重的主要河段为射阳县小洋河段、大四河、何垛河、二卯西河的大丰市区段等。至

2016年,全市有48个省级重点水功能区,其中东台市、大丰区和射阳县分别有8个、13个和7个,达标率最高的为射阳县,最低为东台市。

## 4 水生态效应评价模型构建

层次分析法<sup>[21]</sup>是一种主观加权方法,它的主观随意性却比较大。熵权法是一种客观的加权值,该方法虽然充分挖掘了原始数据所携带的信息,使得评价结果具有较强的客观性,但不会包含专家的实证知识以及决策者的意见,有时也有可能获得重量值,但不符合指标的实际重要性。笔者将层次分析法得到的主观权重与熵权法得到的客观权重相结合,从而得到最低层次指标相对于最高层次的综合权重,降低了使用单一方法进行评价的主观性或者偏见。

### 4.1 层次分析法获取评价指标主观权重

#### 4.1.1 建立层次结构模型

根据表1中各级评价指标间的关系可得现有垦区水生态效应评价体系的层次结构模型。

#### 4.1.2 构造判断矩阵

构造A1、A2指标相对于目标层的判断矩阵, B1、B2、B3指标相对于一级指标A1的判断矩阵, B4、B5、B6、B7指标相对于一级指标A2的判断矩阵,……,C25、C26、C27指标相对于二级指标B7的判断矩阵。

#### 4.1.3 层次单排序和一致性检验

计算得到垦区综合评价评价系统B层相对与A层的主观权重值和C层相对于B层的主观权重值,最大特征向量 $\lambda_{max}$ 、CI及各层指标的一致性检验因子CR计算结果见表2,CR均小于0.1,通过一致性检验,可以认为判断思维的逻辑性保持一致,判断矩阵合理。

表2 一致性检验结果

指标	$\lambda_{max}$	CI	RI	CR
A	2.01	0.01	0.00	0
B1				
B2	3.06	0.03	0.58	0.05
B3				
B4				
B5				
B6	4.23	0.07	0.9	0.07
B7				

#### 4.1.4 层次总排序和一致性检验

计算垦区水生态综合评价体系C层各指标相对于目标层的主观权重 $\omega_i$ 。

$$\omega_i = \sum_{j=1}^m a_j b_i^j \quad (i = 1, 2, \dots, 27) \quad (1)$$

一致性检验结果表明满足一致性。

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\sum_{j=1}^m a_j CI_j}{\sum_{j=1}^m a_j RI_j} = 0.002 < 0.1 \quad (2)$$

## 4.2 熵权法获取评价指标客观权重

### 4.2.1 计算评价指标下目标对象指标值的比重 $P_{ij}$

构建3个目标对象的相应评价指标的原始数据矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times m}$ , 计算第 $j$ 个目标对象第 $i$ 个评价指标的比重 $P_{ij}$ , 构建归一化矩阵 $P = (p_{ij})_{n \times m}$ 。

### 4.2.2 计算评价指标的熵值 $e_i$

$$e_i = -k \sum_{j=1}^3 P_{ij} \ln P_{ij} \quad (3)$$

### 4.2.3 计算评价指标的熵权 $u_i$

$$u_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{i=1}^{27} (1 - e_i)} \quad (4)$$

## 4.3 多指标综合评价获取评价指标复合权重

邀请10位专家对层次分析法和熵权法所占权重进行赋值, 分别取主观权重与客观权重平均值, 从而计算出水生态效应综合评价体系三级指标(C层)相对于目标层的复合权重值 $\lambda_i$ 。

根据计算出的 $\lambda_i$ , 再计算出A层相对于目标

层、B层相对于A层, C层相对于B层的复合权重集。水生态效应评价指标体系权重值计算结果见表3。

## 4.4 二级指标综合评价

根据构建的沿海垦区生态效应评价体系模型, 使用式(5)计算沿海垦区生态效应二级指标的综合评价得分, 东台市、射阳县和大丰区二级评价指标的综合评价计算结果见表4。

$$S_{(B)i} = C_i R_{C_i}^T \quad (i = 1, 2, \dots, 7) \quad (5)$$

式中: $S_{(B)i}$ 为二级指标综合评价得分; $C_i$ 为三级指标相应的权重值; $R_{C_i}^T$ 为三级指标相应的得分矩阵。

表4 东台市、射阳县、大丰区二级指标综合评价

目标	一级指标	二级指标	东台市	射阳县	大丰区
水生态 效应综 合评价 体系	水生态系统(A1)	水资源(B1)	78.51	83.38	78.87
		水环境(B2)	79.68	80.13	81.07
		水生生物(B3)	82.94	81.30	80.05
	社会经济(A2)	水利用(B4)	75.20	75.47	83.57
		水管理(B5)	82.43	82.36	84.56
		水文化(B6)	87.76	83.15	81.37
		水经济(B7)	79.83	79.47	78.47

## 4.5 一级指标综合评价

整理二级指标综合评价得到一级指标得分矩阵, 将二级指标(B层)相对于一级指标(A层)的复合权重集与二级指标得分矩阵进行相乘, 计算现有

表3 水生态效应评价指标体系权重

一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重	三级指标	三级指标权重	
水生态系统(A1)	0.6945	水资源(B1)	0.2833	人均水资源量(C1)	0.2883	
				年均缺水量(C2)	0.3233	
				人均供水量(C3)	0.1447	
		水环境(B2)	0.3233	0.3233	地表水开发利用率(C4)	0.1347
					地下水开采系数(C5)	0.1089
					水功能区达标率(C6)	0.1502
					水面湿地面积(C7)	0.5355
					水土流失治理率(C8)	0.3143
					水生生物栖息地状况指数(C9)	0.5879
					水生生物丰富度(C10)	0.4121
水利用(B4)	0.3561	0.3561	用水总量控制红线达标率(C11)	0.2672		
			万元工业增加值用水量(C12)	0.2099		
			人均缺水量(C13)	0.1408		
			用水弹性系数(C14)	0.1259		
			灌溉水有效利用系数(C15)	0.1441		
			入河污染物总量达标率(C16)	0.1121		
			用水量率(C17)	0.2833		
			取水许可实施率(C18)	0.2054		
水管理(B5)	0.2054	0.2054	排污口监控率(C19)	0.1447		
			污水处理率(C20)	0.1347		
			水资源管理考核合格率(C21)	0.1089		
			水域岸线规划与实施情况(C22)	0.1179		
			水生态文明认知度和满意度(C23)	0.6264		
			水文化保护度(C24)	0.3736		
水文化(B6)	0.1509	0.1509	单位水GDP产出(C25)	0.4937		
			休闲旅游价值(C26)	0.2618		
			水产渔业价值(C27)	0.2445		
水经济(B7)	0.2876	0.2876				

垦区生态效应一级指标的综合评价得分。

$$S_{(A)_i} = B_i \mathbf{R}_{B_i}^T \quad (i = 1, 2) \quad (6)$$

式中: $S_{(A)_i}$ 为一级指标综合评价分数; $B_i$ 为二级指标相应的权重值; $\mathbf{R}_{B_i}^T$ 为二级指标的得分矩阵。

根据式(6)计算出射阳县、大丰区的“水生态系统”和“社会经济系统”两个一级评价指标的得分,结果如表5所示。

表5 东台市、射阳县、大丰区一级指标综合评分值

评价指标	一级指标评价综合得分		
	东台市	射阳县	大丰区
水生态系统	67.21	77.11	77.09
社会经济子系统	79.91	71.77	78.05

#### 4.6 现有垦区生态系统综合评价

将现有垦区一级指标的综合评价得分进行整理得到一级指标相对于目标层的得分矩阵 $\mathbf{R}_A^T = [S_{(A)_I}, S_{(A)_II}]^T$ ,然后将一级指标(A层)相对于目标层的复合权重集与一级指标得分矩阵进行相乘,从而计算现有垦区的综合评价值。

$$S = \mathbf{A} \mathbf{R}_A^T \quad (7)$$

式中: $S$ 为现有垦区综合评判分数; $A$ 为一级指标相应的权重值; $\mathbf{R}_A^T$ 为一级指标相应的得分矩阵。

根据式(7)可计算出东台市、射阳县和大丰区的综合评价得分,结果见表6。

表6 东台市、射阳县、大丰区现有垦区水生态效应综合评价得分

东台市	射阳县	大丰区
77.95	75.30	73.21

### 5 水生态效应综合评价分析

#### 5.1 水生态子系统评价结果分析

经过计算,东台市、射阳县、大丰区水生态子系统的评价值为67.21、77.11、77.09分。射阳县的水生态子系统评价价值总体领先的主要原因为:地处淮河水系下游,里下河地区东部边缘,水资源条件较好;三级“河长”合力治水,全民积极参与,水功能区达标率连年领先。

##### 5.1.1 水资源分析

水资源得分由高到低依次为:射阳县(83.38分)、东台市(78.87分)、大丰区(78.51分)。射阳县的水资源得分高于其他两个区域,主要原因为:射阳县浅层地下水开采量很少,过境水资源丰沛,为开发利用提供了得天独厚的条件<sup>[22]</sup>。

##### 5.1.2 水环境分析

水环境得分由高到低依次为:大丰区(81.07分)、射阳县(80.13分)、东台市(79.68分)。大丰

区水环境得分高于其他区域,主要原因为:积极开展水土流失治理试点研究;重视土壤改良;积极开展小区域水土流失综合治理工程。

#### 5.2 社会经济子系统评价结果分析

经过计算,东台市、射阳县、大丰区社会经济子系统的评价值分别为79.91、71.77、78.05分。东台市领先的主要原因为:首次在江苏省提出了“桑一禽(蚕)一菌一沼”生态循环经济的发展模式,开辟了发展农村循环经济的新途径,利用区位优势积极发展旅游经济。

##### 5.2.1 水利用子系统分析

水利用得分由高到低依次为:大丰区(83.57分)、射阳县(75.47分)、东台市(75.20分)。大丰区的水利用得分领先的主要原因为:加大农业综合开发和小型农田水利重点县工程等项目的投入,积极推广节水灌溉示范工程,提倡高效节水,发展微、喷灌技术;加强畜禽养殖污染治理和开展水产养殖污染治理。东台市水利用评价偏低,有较大的提升空间。

##### 5.2.2 水管理子系统分析

水管理评价比较接近,依次为:大丰区(84.56分)、东台市(82.43分)、射阳县(82.36分)。大丰区的水管理评价领先主要原因为:积极实现水资源的合理配置,保障城乡居民生活用水,提高工业用水水平,兼顾生态环境用水,控制和压缩农业用水;积极推进规模化节水灌溉增效示范项目建设。

##### 5.2.3 水文化子系统分析

水文化得分由高到低依次为:东台市(87.76分)、射阳县(83.15分)、大丰区(81.37分)。东台市的水文化评价领先的主要原因为:东台独特的地理位置使水利与东台文明同起源同发展,治水、管水、用水贯穿了东台的历史;在历史演化中,东台兴修了各类水利设施,留下较多具有科学价值和历史价值的水利遗迹。大丰区的水文化评价较低。

##### 5.2.4 水经济子系统分析

水经济评价比较均衡,依次为:东台市(79.83分)、射阳县(79.47分)、大丰区(78.47分)。东台市水经济得分高于其他区域,主要原因为:东台文化底蕴深厚,拥有海春轩塔、董永七仙女传说等“十大文化名片”,成功建设了条子泥垦区生态公园,提升了东台市的休闲旅游价值。东台市渔业生产致力实施“科技兴渔、渔民增收”战略,高度重视渔业科技入户工作,形成镇村经济发展新的增长点。

## 6 对策建议

### 6.1 水资源合理开发利用对策分析

通过江苏省沿海典型垦区水生态的现状调研、分析与效应评价,表明3个典型垦区的水生态子系统与社会经济子系统各有优势与缺陷,应该充分利用各自的自然资源、环境与水生态条件,进一步加强水管理能力、提高水利用水平、丰富水文化内涵、发挥水经济效益。

**a.** 推广节水型灌溉减少水资源浪费。东台市、大丰区和射阳县各年用水总量中农业灌溉占比最大,为减少传统浇灌产生的大量水资源浪费,应大力推广节水型灌溉模式用水。

**b.** 加强水源地保护提高用水安全性。树立科学发展观,有计划有依据地逐步规划好周边的相关建设项目,在水源地上游要加强水质安全监测。为保护天然水资源、减少水资源的流失,应加强区域水库、湖泊和河流等的修复。

**c.** 合理规划入河排污口并加强整治。按照《入河排污口监督管理办法》的有关规定进行排污口的设置,并且对区域内原有的排污口进行全面测底的清理整治,重点清理整治主要供水河流通道以及其他设有饮用取水口的河流和水库的排污口,对不符合监督管理办法要求的进行撤并处理,对环境影响较大超标排污水源地的进行限期治理等等。

**d.** 全面实施污染物入河总量控制。单一的浓度控制是长久以来水环境的管理方式,不能将污染源削减与水体环境目标进行有机结合是这种控制方式的不足之处。浓度控制和总量控制并存是现阶段管理方式的发展趋势,应制订并出台有关水功能区总量控制方案,提出水功能区限制总量控制意见和考核办法。

### 6.2 社会经济发展对策分析

**a.** 充分利用政策优势以发展区域经济。2014年“一带一路”进一步凸显了江苏省在推动中国新开放的战略地位。应充分利用自身的优势,结合长三角一体化的发展趋势和全国城市创新的政策,在多重政策引导下,强化市场经济意识,加强政府的引导和服务功能,从产业集聚中走出区域经济发展的新路径。

**b.** 加大创新技术平台和基础设施建设投资力度。在基础比较薄弱的情况下,需要加大对创新技术平台、新兴产业、基础设施的资金投入力度。当地传统和特色产业要利用互联网金融的力量,发展互联网+模式,建立发展基金,多渠道加快建设“互联网+”平台建设。江苏省高校众多,可以利用这一

天然优势,和各大高校合作,实行技术资源共享,提高企业创新能力和学生的创新创业能力。

**c.** 鼓励发展新兴产业以优化产业结构。产业结构的调整优化不是一朝一夕能够完成的,需要长时间有计划地不断积累调整。应利用沿海优势发展能源的新兴产业、沿海的特色产业,大力支持龙头企业,打造品牌效应以带动整个区域的经济的发展。

**d.** 引进各类科技人才以营造技术氛围。建立各类科技人才集聚工程,以政策和产业吸引和鼓励本地高校毕业生,促进科技发展;加强以计算机网络技术与互联网为基础支持的信息化建设,使商业科技信息传递更加快速、精准、实时、便捷,努力营造整个城市的创新创业技术氛围。

### 参考文献:

- [1] 孙明园,韩龙喜,樊陆欢.走马塘拓浚工程的生态效应[J].水资源保护,2013,29(6):36-40.
- [2] 陈建生,张茜,马芬艳,等.长江三峡库区水渗漏引起的地下水污染问题讨论[J].河海大学学报(自然科学版),2019,47(6):487-491.
- [3] 陈小娟.水利水电工程建设运行对水生生物的影响与对策[J].人民长江,2014,45(15):7-13.
- [4] 周建军,张曼.长江鄱阳湖问题的原因及湖口建闸的影响[J].水资源保护,2019,35(2):1-12.
- [5] 黄显峰,贾永乐,方国华,等.基于PP-RVA法的水电站下游河流水文情势评价[J].河海大学学报(自然科学版),2018,46(6):479-485.
- [6] 陈伟伦,王伟.青草沙水库工程对河床冲淤演变的影响[J].水利水电科技进展,2018,38(4):44-50.
- [7] WECKERNAGEL M, ONISTO L, BELLO P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999, 29(3): 375-390.
- [8] 李广东,方创琳,王少剑,等.城乡用地遥感识别与时空变化研究进展[J].自然资源学报,2016,31(4):703-718.
- [9] 魏娜.基于复杂水资源系统的水利工程生态调度研究[D].北京:中国水利水电科学研究院,2015.
- [10] 洪思扬,王红瑞,朱中凡,等.辽宁省水资源生态足迹与生态承载力分析[J].水利经济,2016,34(3):46-52.
- [11] 宦臣臣,甘升伟,徐慧,等.无锡市水生态足迹与水资源可持续发展评价[J].水利经济,2018,36(4):58-62.
- [12] REES W E. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2):121-130.
- [13] 张东亚.水利水电工程对鱼类的影响及保护措施[J].水资源保护,2011,27(5):75-77.

(下转第61页)

- al performance review[J]. Public Administration Review, 2007, 67(3):545-558.
- [6] 魏星,赵敏.城市再生水项目社会资本合作方选择[J]. 水资源保护,2016,32(5):47-52.
- [7] 刘汉昌.水利工程供水价格制定的原则和方法[J]. 人民黄河,1999(3):38-39.
- [8] 柯珊珊,赵伟,杨晴.水利工程现行水价分析[J]. 水利规划与设计,2017(7):161-165.
- [9] 徐雄峰.综合性水利工程水价测算分析[J]. 中国农村水利水电,2015(3):114-116.
- [10] 于洪涛,吴泽宁,郭瑞丽.非对称信息下城市生活用水水价机制[J]. 水利水电科技进展,2010,30(5):33-36.
- [11] 施熙灿.水利工程供水水价模式设计[J]. 水利水电科技进展,2004,24(5):1-5.
- [12] 韦海民,李轶豪.地下综合管廊PPP项目入廊定价影响因素研究:基于结构方程模型的分析[J]. 会计之友, 2018,598(22):103-109.
- [13] 刘穷志,李佳颖.PPP定价的决定力量及利益博弈测度:基于中国高速公路PPP项目的证据[J]. 财贸研究,2018,29(10):80-90.
- [14] 徐顺青,宋玲玲,刘双柳,等.基于资本资产定价模型的PPP项目合理回报率研究[J]. 工业技术经济,2019(3):46-51.
- [15] 王洪强,李皓,程敏.公共基础设施PPP项目定价研究:基于污水处理项目的定价模型应用[J]. 价格理论与实践,2015(11):141-143.
- [16] 施颖,刘佳.基于PPP模式的城市基础设施特许经营期决策研究[J]. 当代经济管理,2015,37(6):18-23.
- [17] 郭斌,张晶.PPP模式下准经营性项目产品定价问题研究:模型建构与案例验证[J]. 现代财经(天津财经大学学报),2017(5):26-35.
- [18] 段世霞.PPP项目特许价格影响因素的结构方程建模分析[J]. 科技管理研究,2013,33(10):197-201.
- [19] 梁姝.水利PPP项目合同争议的多元化解决机制研究[J]. 水利经济,2018,36(1):64-68.
- [20] 沈俊鑫,刘雅婷,王潇涵.基于系统动力学演化博弈的养老PPP项目三方合作共赢机制研究[J]. 河北经贸大学学报,2019,40(2):105-114.
- [21] SAVAS E. Privatization and public-private partnerships for local services[J]. Chatham House, 2004, 87(1):21-23.
- [22] 曹璐,刘小勇,刘定湘,等.城市供水PPP模式探讨[J]. 水利发展研究,2016,16(3):29-31.
- [23] 刘小勇.社会资本参与重大水利工程建设运营模块化设计的思路与建议[J]. 水利发展研究,2016,16(9):1-2.
- [24] GRIMSEY D, LEWIS M. Public private partnerships: the worldwide revolution in infrastructure provision and project finance [M]. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2007:27-29.
- [25] 张乃平,吴雪梅.基于FAHP的PPP水利项目风险评价[J]. 水利经济,2018,36(2):1-6.
- [26] ROBERT O K, CHAN A P C. Review of studies on the critical success factors for public-private partnership (PPP) projects from 1990 to 2013[J]. International Journal of Project Management, 2015, 33(6):1335-1346.
- [27] JIN X H, DOLOI H. Interpreting risk allocation mechanism in public-private partnership projects: an empirical study in a transaction cost economics perspective [J]. Construction Management and Economics, 2008, 26(7):707-721.
- [28] 钟云,薛松,严华东.PPP模式下水利工程项目物有所值决策评价[J]. 水利经济,2015,33(5):34-38.
- [29] 汪恕诚.水权和水市场:谈实现水资源配置的经济手段[J]. 中国水利,2000(11):7-10.

(收稿日期:2019-09-29 编辑:陈玉国)

(上接第48页)

- [14] 尚淑丽,顾正华,曹晓萌.水利工程生态环境效应研究综述[J]. 水利水电科技进展,2014,34(1):14-19.
- [15] 相震,吴向培,王连军,等.直岗拉卡水电站工程生态环境的影响分析[J]. 自然资源学报,2004,19(5):646-650.
- [16] 郭乔羽,李春晖,崔保山,等.拉西瓦水电工程对区域生态影响分析[J]. 自然资源学报,2003(1):50-57.
- [17] 常本春,耿雷华,刘翠善,等.水利水电工程的生态效应评价指标体系[J]. 水利水电科技进展,2006(6):11-15.
- [18] 华坚,刘秀,李晶晶.河南省水利工程系统与“经济-社会-水域生态”复合系统的协调度评价[J]. 水利经济,2018,36(5):1-6,35.
- [19] 李旭辉.基于水生态文明建设的涉水产业发展对策[J]. 广东水利水电,2017(1):30-33.
- [20] 张子来,郭开国.射阳县实施最严格水资源管理制度的探索与思考[J]. 广西水利水电,2013(1):20-23.
- [21] 陈建军,卞艺杰.层次分析法在水利建设工程项目风险评估中的应用[J]. 水利经济,2007,25(1):13-15.
- [22] 曹东平.《江苏省节约用水条例》关键制度措施解读[J]. 水利发展研究,2016,16(8):31-35.

(收稿日期:2019-10-16 编辑:陈玉国)

