

引用格式: 吴丹. 流域水利发展水平评价方法研究——以淮河流域为例[J]. 资源科学, 2016, 38(7): 1323–1335. [Wu D. Modeling an evaluation method of water conservancy development in Huaihe River Basin[J]. *Resources Science*, 2016, 38(7): 1323–1335]. DOI: 10.18402/resci.2016.07.13

# 流域水利发展水平评价方法研究 ——以淮河流域为例

吴 丹

(北方工业大学经济管理学院, 北京 100144)

**摘 要:** 通过综合评价不同时期流域水利发展水平的差异, 分析影响流域水利发展水平的主要因素, 对推动流域水利建设与水资源可持续利用具有重要的意义。本文剖析了流域社会经济发展与水利发展之间的互动机理, 分析影响流域水利发展水平的主要影响因素, 提出从水资源利用、水环境保护、水生态修复以及水灾害防治四个维度, 明确流域水利发展目标体系, 设计流域水利发展水平评价指标体系, 并采用加权综合指数法、理想解模型和协调度评价法, 构建流域水利发展水平动态评价模型, 动态评价流域内各地区之间的水利发展水平与协同发展程度。之后, 应用该模型实证分析了淮河流域及沿淮各省水利发展指数动态变化趋势, 确定了各维度指标对水利发展指数的平均贡献度, 并对沿淮四省水利发展水平进行对比分析, 评价沿淮各省之间水利发展水平的协同发展程度。评价结果显示: ①淮河流域四省水利发展指数均有不同程度的提升, 按提升速度排序依次为江苏、山东、河南和安徽。按水利发展水平优劣排序为江苏、山东、河南和安徽, 评价结果与流域水利发展实践相吻合, 进一步验证了该方法的可行性; ②淮河流域水资源利用受水资源开发利用率、万元工业增加值用水量、万元GDP用水量、农业灌溉亩均用水量的影响较大, 水环境保护受COD排放量、氨氮排放量、万元GDP废水排放量、省界断面水质综合达标率的影响较大, 水生态修复受水土流失综合治理率的影响较大, 水灾害防治受水旱灾害成灾率的影响较大, 该方法从综合视角对流域水利发展水平进行评价, 弥补了已有成果单一视角分析的不足。

**关键词:** 水利发展水平; 评价指标体系; 理想解模型; 协调度评价法; 淮河流域

DOI: 10.18402/resci.2016.07.13

## 1 引言

随着人口增长、社会经济发展以及人民生活水平的提高, 水利发展对社会经济发展的支撑性作用愈发凸显, 主要体现在水资源利用、水环境保护、水生态修复、水灾害防治等对社会经济发展的综合支撑作用。为保障流域社会经济可持续发展, 必须防止水利发展成为流域及所辖区域社会经济发展的桎梏。因此, 需要结合水资源利用、水环境保护、水生态修复、水灾害防治等四大水问题, 形成一套完善的流域水利发展水平评价体系, 有效诊断水利发

展存在的问题, 完善流域水利综合管理体制与政策制度, 提高流域水利综合管理能力, 进一步强化水利发展对社会经济发展的支撑性作用。

联合国经济合作与发展组织(OECD)、亚洲开发银行(ADB)等国际组织先后开展了相关流域水利发展水平评价研究。从评价指标体系来看, 主要涉及水资源分配、农业灌溉等水资源利用评价指标体系<sup>[1–3]</sup>; 地下水排水、水质等水环境评价指标体系<sup>[4–7]</sup>。从评价方法来看, 主要包括价值工程法、模糊综合评价法、数据包络分析法、以及投影寻踪模型等方

收稿日期: 2015–04–13; 修订日期: 2015–09–22

基金项目: 国家社科基金重大项目(15ZDB164); 北方工业大学—清华大学合作项目(20160099); 北方工业大学优势(建设)学科项目(XN081)。

作者简介: 吴丹, 男, 江西抚州人, 博士, 讲师, 主要研究方向为水管理与政策、战略规划与资源配置、管理决策理论与应用。

E-mail: wu\_daniel@163.com

法<sup>[8-10]</sup>。针对中国流域水利发展水平评价研究,一方面,学者们从不同维度对水利发展状况进行了探讨评价,主要涉及水资源利用评价<sup>[11,12]</sup>、水环境评价<sup>[13-16]</sup>、水生态安全评价<sup>[17-19]</sup>、水灾害风险评价<sup>[20-22]</sup>。另一方面,学者们探讨了水利与经济社会协调发展评价指标与模型<sup>[23-27]</sup>。后者如杨丽英等建立了中国水利现代化发展水平综合评价体系,采用静态评价方法对中国2008年31个省区水利现代化发展水平进行分析评价<sup>[23]</sup>。毛慧慧等分别采用层次分析法、熵权法和综合法,分析评价了2005年、2007年辽河流域水利与经济社会协调发展程度<sup>[24]</sup>。张海涛等根据2011年中央1号文件提出2020年基本建成四大体系的目标任务,制定17个评价指标,建立模糊聚类循环迭代模型,分析评价了2009年全国水利发展状况<sup>[25]</sup>。邢华等从安全保障、推进发展、经济调节、稳定生态等四个方面,构建了流域与区域水利发展协调性评价指标,分析评价了2009年淮河流域与区域水利发展协调性<sup>[26]</sup>。马婷等构建了水利支撑经济社会发展能力评价指标体系,运用层次分析法测算了2011年中国水利支撑经济社会发展能力分值<sup>[27]</sup>。

基于现有研究文献发现,目前流域水利发展水平评价体系主要存在两方面的不足:第一,学者们主要注重从单一维度构建评价指标体系,对水利发展状况进行分析,未考虑在剖析流域社会经济发展与水利发展之间的互动机理基础上,从水资源利用、水环境保护、水生态修复以及水灾害防治等综合视角,建立更为完善的水利发展水平评价体系;第二,现有的评价方法重点强调特定流域水利发展水平在具体年份的静态评价,并没有考虑对不同年份的流域水利发展水平进行动态评价,同时缺乏对流域内各地区之间的水利发展水平进行对比分析,未体现流域内各地区水利发展水平的协同发展效率。鉴于此,本文在剖析流域社会经济发展与水利发展之间的互动机理基础上,分析影响流域水利发展的主要影响因素,从水资源利用、水环境保护、水生态修复以及水灾害防治四个维度,明确流域社会经济发展与水利发展目标体系,对流域水利发展评价指标体系进行设计;并采用加权综合指数法、理想解模型和协调度评价法,构建相应的动态评价模型,作为流域水利发展水平评价的方法。在此基础

上,以淮河流域为研究对象,对淮河流域水利发展水平进行定量的动态评价,为进一步完善淮河流域水利综合管理体制与政策制度,提高流域水利综合管理能力,解决深层次的水利问题提供参考依据。

## 2 流域水利发展水平评价指标体系设计与动态评价模型

### 2.1 评价指标体系设计

#### 2.1.1 流域水利发展与社会经济发展之间的互动机理

水利发展与社会经济发展之间表现为相互作用、相互激励、相互制约的关系。一方面,随着经济的快速发展,水管理政策制度逐步完善,水利投资额快速增长,进一步加快了水利发展步伐,水资源供给能力增强,水资源利用效率显著提高,农业用水比例下降,生态用水比例逐步上升,水污染治理能力提升,水污染排放量持续减少,防洪能力增强,有效缓解水利发展的滞后性,促进了社会经济可持续发展和生态环境健康发展,最终保障了社会公众的生存安全、生态安全与国家安全。另一方面,中国是水资源大国,但人口众多、人均水资源占有量少,且水资源时空分布不均、水旱灾害频发,由于水利发展相对于社会经济发展的滞后性,导致传统单一的水利问题已转向水资源短缺、水环境污染、水生态退化、水灾害加剧等相互影响的现代综合型水问题,形成了影响中国经济社会可持续发展的多重水危机(见图1)。

图1显示,水资源短缺、水环境污染、水生态恶化以及水灾害加剧已成为制约流域社会经济发展的主要影响因素。其中,水资源短缺问题表现为从资源型短缺转向工程型短缺、资源型短缺与水质型短缺相互作用形成的综合型短缺,水资源供需矛盾突出,水资源相对不足;水环境污染问题表现为从常规污染物的传统型污染转向新旧多种污染物相互影响的复合型污染;水生态退化问题表现为从最初忽视水生态保护、过度水资源开发导致的水土流失严重转向水土流失严重、水污染加剧和水利设施管理不善导致的水生态恶化,虽局部得到改善但整体退化;水灾害加剧问题表现为从江河防洪标准低导致的灾害损失增加转向资源短缺、环境污染、生态退化以及防洪除涝能力不足导致的灾害风险上

2016年7月

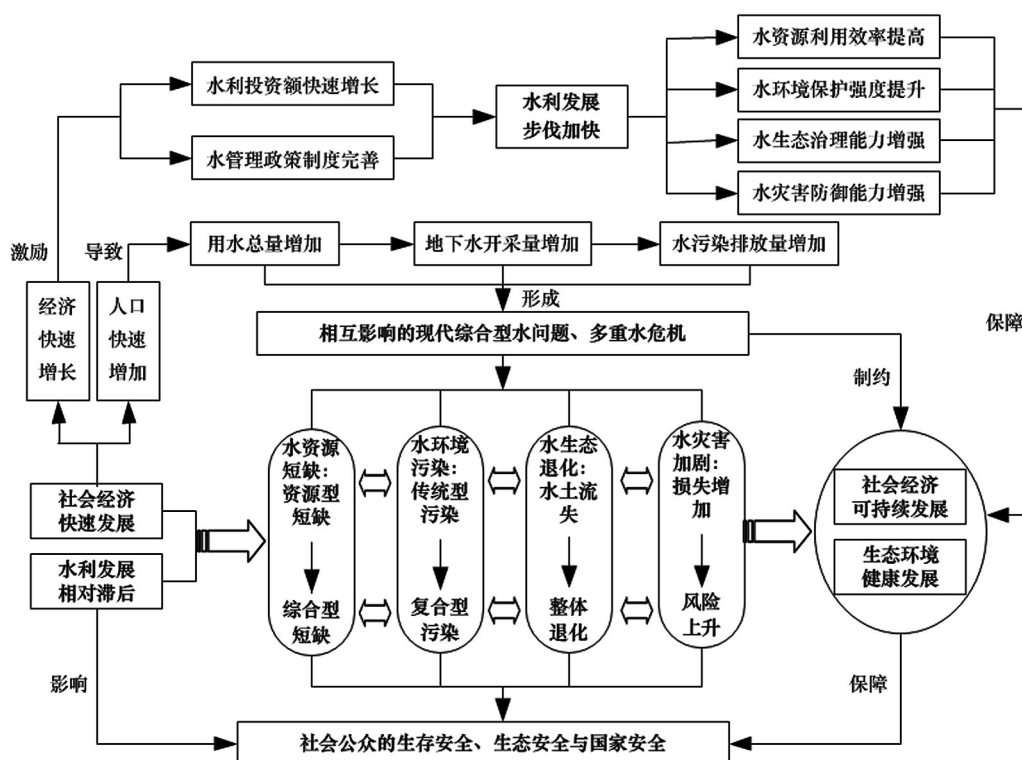


图1 流域水利发展与社会经济发展之间的互动机理

Figure 1 Interactive mechanism of water conservancy development and socio-economy development in a river basin

升。中国水问题系长期累积形成,水资源短缺、水环境污染、水生态退化和水灾害加剧等四大水问题相互作用、彼此叠加构成相互反馈作用的复杂关系,对经济社会可持续发展又构成了巨大挑战和严重威胁,对水生态环境健康发展的不利影响也将愈来愈强烈,最终影响社会公众的生存安全、生态安全与国家安全。

### 2.1.2 流域水利发展水平评价指标体系

为了进一步保障社会公众的生存安全、生态安全与国家安全,加快水利发展步伐,提高水利综合管理能力,需要构建一套完善的流域水利发展目标与评价指标体系,通过指标评估,确定制约流域社会经济发展的关键因素。

参考国内外学者的文献资料和研究成果,结合流域水利发展的主要影响因素,从水资源利用、水环境保护、水生态修复以及水灾害防治四个维度,构建流域水利发展目标体系。流域水利发展目标体系可概括为:

(1)水资源利用目标。即通过加快节水型社会建设和加强水资源的节约集约利用,合理控制流域水资源开发利用,增强水资源合理配置与高效利

用能力,大幅降低流域水资源消耗强度,减少人均用水量与农田亩均灌溉用水量,降低万元工业增加值和国民生产总值的水资源消耗,健全水资源合理配置与高效利用体系。

(2)水环境保护目标。即通过加强水源地保护,强化水污染防治,严格控制并减少COD、NH<sub>3</sub>-N等水污染物排放总量,提高水功能区水质达标率和省界断面水质综合达标率,降低万元GDP废水排放量,提高城镇生活污水集中处理率和工业废污水排放达标率,健全水资源保护与河湖健康保障体系。

(3)水生态修复目标。即通过加强水土流失的综合治理,强化水生态保护与修复能力,严格控制地下水开采量,降低地下水资源占用水总量比例,提高生态环境的用水比例,加强水体的自净能力,保障流域水生态环境的自然恢复。

(4)水灾害防治目标。即通过加强流域综合防灾减灾体系建设,增强流域防洪除涝能力,提高水旱灾害综合防御能力,降低水旱灾害成灾率,提高堤防保护人口比例与除涝面积比例,减少流域水旱灾害直接经济损失,健全防洪抗旱减灾体系。

结合流域水利发展的四大目标体系,采用文献



阅读法、频度统计法、成果借鉴法、专家咨询法以及理论分析法等理论方法,选取相应的评价指标,基于层次递阶结构,建立流域水利发展水平评价指标体系,直接或间接反映流域水利发展水平,见表1。

表1 流域水利发展水平评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of water conservancy development level in a river basin				
一级指标	二级指标	主要选取理由	计算方法	指标对评价结果的影响
水资源利用指标	水资源开发利用率	反映水资源开发利用程度 评价水资源开发利用效率	用水总量/水资源总量 $\times 100\%$	该指标值是一个倒U型曲线,通常不超过国际公认的40%的合理限度
	有效灌溉面积占比	反映水资源利用与农业发展、粮食安全的关系 评价农业供水保障效率	农田有效灌溉面积/耕地面积 $\times 100\%$	为提高农业供水保障率,该指标值越大越好,与评价结果正相关
	人均用水量	反映每一用水人口的用水程度 评价人均用水效率	用水总量/人口总数	该指标值与经济社会发展水平密切相关,通常是城市大于农村,经济落后地区小于经济发达地区。针对经济发达地区,指标值越小,体现人均用水效率越高
	农田灌溉亩均用水量	反映水资源利用与农业发展、粮食安全的关系 评价农业用水效率	农田灌溉用水量/灌溉面积	该指标值与农业种植结构密切相关,在农业种植结构不变的情况下,指标值越小,农业用水效率相对越高
	万元工业增加值用水量	反映水资源利用与工业发展的关系 评价工业用水效率	工业用水量/工业增加值	为提高工业用水效率,该指标值越小越好,与评价结果负相关
	万元GDP用水量	反映水资源利用与国民经济发展的关系 评价总体用水效率	用水总量/国内生产总值	为提高总体用水效率,该指标值越小越好,与评价结果负相关
	水功能区水质达标率	反映水环境质量的好坏 评价水功能区水质达标状况	水功能区三类以上水质比例	为提高水功能区水质达标状况,该指标值越大越好,与评价结果正相关
	省界断面水质达标率	反映水环境质量的好坏 评价水体环境质量状况	省界断面三类以上水质比例	为提高水体环境质量,该指标值越大越好,与评价结果正相关
	COD排放总量及削减率	反映水环境质量的好坏 评价水污染物COD排放量的削减状况	(本年COD排放量-上一年COD排放量)/上一年COD排放量 $\times 100\%$	该指标值是在确定流域尺度的削减量后,根据各行政区域的排放量、经济社会发展水平等进行行政协调综合确定。在此基础上,为提高水污染物削减率,COD排放总量越小越好
	氨氮排放总量及削减率	反映水环境质量的好坏 评价水污染物氨氮排放量的削减状况	本年氨氮排放量-上一年氨氮排放量)/上一年氨氮排放量 $\times 100\%$	为提高水污染物削减率,氨氮排放总量越小越好,与评价结果负相关
水环境保护指标	万元GDP废水排放量	反映水环境保护与国民经济发展的关系 评价总体废水排放效率	废水排放总量/国内生产总值	为提高总体废水排放效率,该指标值越小越好,与评价结果负相关
	城镇生活污水集中处理率	反映水环境保护与国民生活质量的关系 评价城镇生活污水处理效果	城镇生活污水集中处理量/城镇生活污水排放总量 $\times 100\%$	为提高城镇生活污水处理效果,该指标值越大越好,与评价结果正相关
	工业废污水排放达标率	反映水环境保护与工业发展的关系 评价工业废水治理效果	工业废污水排放达标量/工业废污水排放总量 $\times 100\%$	为提高工业废水治理效果,该指标值越大越好,与评价结果正相关
	地下水用水量占总量比例	反映地下水利用程度 评价地下水开采控制效果	地下水用水量/用水总量 $\times 100\%$	地下水开采具有明显的区域性特征,为维持水生态平衡,必须加强地下水开采控制,不超过国际标准利用地下水的极限值40%
	水生态修复指标			

(接下页)

2016年7月

续表1

一级指标	二级指标	主要选取理由	计算方法	指标对评价结果的影响
水灾害防治指标	生态用水量	反映生态用水的满足程度	生态用水量/用水总量 $\times 100\%$	为提高维持水生态环境功能效果,该指标值越大越好,与评价结果正相关
	占总用水量比例	评价维持水生态环境功能效果		
	水土流失综合治理率	反映水生态系统的恢复情况 评价水生态治理效果		
	水土流失	反映水生态系统的恢复情况	水土流失治理面积/水土流失面积 $\times 100\%$	为提高水生态治理效果,该指标值越大越好,与评价结果正相关
	水灾害成灾率	反映水利防灾减灾与国民经济的关系 评价防御水灾害的实际效果		
	旱灾害成灾率	反映水利防灾减灾与国民经济的关系 评价防御干旱灾害的实际效果	旱灾成灾面积/旱灾面积 $\times 100\%$	为加强干旱灾害防御效果,该指标值越小越好,与评价结果负相关
	堤防保护人口比例	反映水利防灾减灾与国民生命安全的 评价堤防对国民的综合保护能力		
	除涝面积比例	反映水利防灾减灾与国民经济的关系 评价除涝能力的高低	除涝面积/洪涝面积 $\times 100\%$	为提高除涝能力,该指标值越大越好,与评价结果正相关

流域水利发展水平评价指标体系的设计是对流域水利发展目标体系的指标化过程,目的是度量评价和全面揭示流域不同时期水利发展指数变化。并通过加强流域所辖行政区域之间水利发展水平的横向比较,全面揭示流域水利发展实践中存在的主要问题,从而明确并强化流域管理机构及流域地方政府水利综合管理的工作要点和努力方向。

## 2.2 流域水利发展水平动态评价模型

结合流域水利发展水平评价指标体系,采用加权综合指数法,对流域不同时期的水利发展指数进行测算。构建改进的理想解模型,对流域所辖各区域之间的水利发展水平的优劣进行对比分析。采用协调度评价法,对流域内各区域水利发展水平的协同发展程度进行评价。

### 2.2.1 流域水利发展指数测算

结合水利发展指标体系的四个维度,采用加权综合指数法,确定流域不同时期水利发展指数,用公式表示为:

$$WPI_j(t) = \sum_{k=1}^4 WPI_{jk}(t) = \sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^m [w_{ki} \times x_{jki}(t)]$$

$$x_{jki}(t) = \begin{cases} \frac{\alpha_{jki}(t)}{\max_{t=1,\dots,n} \{\alpha_{jki}(t)\} + \min_{t=1,\dots,n} \{\alpha_{jki}(t)\}} & [\alpha_{jki} \text{ 为效益型指标}] \\ 1 - \frac{\alpha_{jki}(t)}{\max_{t=1,\dots,n} \{\alpha_{jki}(t)\} + \max_{t=1,\dots,n} \{\alpha_{jki}(t)\}} & [\alpha_{jki} \text{ 为成本型指标}] \end{cases} \quad (1)$$

式中  $WPI_j(t)$  为第  $t$  时期流域第  $j(j=0,1,\dots,J)$  地区的水利发展指数,其中  $j=0$  时,  $WPI_j(t)$  为第  $t$  时期流域的水利发展指数;  $WPI_{jk}(t)$  为第  $t$  时期流域第  $j$  地区第  $k$  个维度的水利发展指数( $k=1$ ,表示水资源利用维度的发展指数; $k=2$ ,表示水环境保护维度的发展指数; $k=3$ ,表示水生态修复维度的发展指数; $k=4$ ,表示水灾害防治维度的发展指数),其中  $j=0$  时,  $WPI_{jk}(t)$  为第  $t$  时期流域第  $k$  个维度的发展指数;  $w_{ki}$  为第  $k$  个维度第  $i$  个指标的权重,指标体系中各个维度和各个维度指标的权重可通过专家咨询予以确定;  $x_{jki}(t)$  为第  $t$  时期流域第  $j$  地区第  $k$  个维度第  $i$  个指标经无量纲化的指标值,即通过指标的归一化处理,实现各区域指标的加权求和,进行区域对比分析,其中  $\alpha_{jki}(t)$  为第  $t$  时期流域第  $j$  地区第  $k$  个维度第  $i$  个指标值,  $\max_{t=1,\dots,n} \{\alpha_{jki}(t)\}$  表示流域第  $j$  地区第  $k$  个维度第  $i$  个指标值的最优值,  $\min_{t=1,\dots,n} \{\alpha_{jki}(t)\}$  为流域第  $j$  地区第  $k$  个维度第  $i$  个指标值的最劣值。

### 2.2.2 流域水利发展维度的平均贡献度

在确定不同时期流域所辖各区域各个维度的发展指数基础上,可计算出各个维度对流域水利发展指数的平均贡献度,用公式表示为:

$$M_{jk} = \left( \sum_{t=1}^n \frac{WPI_{jk}(t)}{WPI_j(t)} \right) / n \quad (2)$$

式中  $M_{jk}$  为第  $k$  个维度对流域第  $j$  地区水利发展指数的平均贡献度( $k=1$ ,表示水资源利用维度对水利

发展指数的平均贡献度; $k=2$ ,表示水环境保护维度对水利发展指数的平均贡献度; $k=3$ ,表示水生态修复维度对水利发展指数的平均贡献度; $k=4$ ,表示水灾害防治维度对水利发展指数的平均贡献度),其中,当 $j=0$ 时, $M_{jk}$ 为第 $k$ 个维度对流域水利发展指数的平均贡献度。

### 2.2.3 流域水利发展水平对比分析

根据水利发展指数及其增长变化趋势,构造时序多指标综合评价矩阵,并结合理想解模型,构建改进的理想解模型,对流域所辖各区域之间的水利发展水平的优劣进行对比分析。即对比分析过程中,既考虑水利发展指数的优劣,同时考虑水利发展指数的增长变化趋势。令:

$$H_j(t) = \frac{WPI_j(t) - WPI_j(t-1)}{WPI_j(t-1)} \quad (t=1,2,\dots,n; j=1,2,3,4)$$

式中 $H_j(t)$ 为水利发展指数的增长变化趋势;表示流域第 $j$ 地区的水利发展指数从 $(t-1)$ 期到 $t$ 期的增长变化趋势。其中 $t=1$ 时,取 $H_j(t)=0$ ,表示流域第 $j$ 地区的基期水利发展指数不发生增长变化。

则构造的时序多指标综合评价矩阵:

$$\begin{aligned} Z &= [z_j(1), z_j(2), \dots, z_j(n)] \\ \begin{cases} z_j(t) = \alpha \times WPI_j(t) + \beta \times H_j(t) \\ \alpha + \beta = 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

式中 $Z$ 为时序多指标综合评价矩阵,既体现了流域所辖地区水利发展指数的优劣差异,又体现了水利发展指数的增长变化趋势,其中 $\alpha$ 为第 $t$ 时期流域第 $j$ 地区水利发展指数 $WPI_j(t)$ 的相对重要程度; $\beta$ 为第 $t$ 时期流域第 $j$ 地区水利发展指数增长变化趋势 $H_j(t)$ 的相对重要程度, $\alpha$ 和 $\beta$ 取值可通过专家咨询予以确定。

公式(3)中,当 $\alpha=1$ , $\beta=0$ 时表示只考虑水利发展指数 $WPI_j(t)$ ,没有考虑水利发展指数的增长变化趋势 $H_j(t)$ ;当 $\alpha=0$ , $\beta=1$ 时表示不考虑水利发展指数 $WPI_j(t)$ ,只考虑水利发展指数的增长变化趋势 $H_j(t)$ ;通常情况下,取 $\alpha=0.5$ , $\beta=0.5$ ,即水利发展指数 $WPI_j(t)$ 和其增长变化趋势 $H_j(t)$ 同等重要。

按照理想解模型,用欧式范数作为距离的程度,第 $t$ 时期流域的时序多指标综合评价 $z_j(t)$ 到

正理想点 $\max z_{ji}(t)$ 的距离 $S_j^+$ 与 $Z_j(t)$ 到负理想点 $\min z_{ji}(t)$ 的距离 $S_j^-$ 为:

$$\begin{cases} S_j^+ = \sqrt{\sum_{t=1}^n \lambda_t [z_j(t) - Z^+(t)]^2} \\ S_j^- = \sqrt{\sum_{t=1}^n \lambda_t [z_j(t) - Z^-(t)]^2} \\ Z^+(t) = \max\{[z_j(t) | j=1,2,\dots,g]\} \\ Z^-(t) = \min\{[z_j(t) | j=1,2,\dots,g]\} \\ \sum_{t=1}^n \lambda_t = 1 \\ \lambda_{t+1} = \lambda_t + \Delta\lambda \end{cases} \quad (4)$$

式中 $Z^+(t)$ 为流域不同时期水利发展指数的正理想解集合矩阵; $Z^-(t)$ 为流域不同时期水利发展指数的负理想解集合矩阵; $\lambda_t$ 为对应的不同时期的时间权重,由于距离现在越近,流域地方政府水利综合能力相对更好,水利发展水平相对更高。因此,应赋予其更大的权重,可采用等差数列赋权方法确定时间未定的权重, $\Delta\lambda$ 为等差数列的公差。则流域第 $j$ 地区水利发展水平 $C_j$ 可表示为:

$$C_j = S_j^- / (S_j^+ + S_j^-) \quad (5)$$

最终,基于改进的理想解模型,根据公式(1)-公式(5),不仅可以得出流域所辖地区水利发展指数的动态变化趋势,而且可对流域所辖地区水利发展水平进行对比分析。并根据流域水利发展指数的动态变化趋势与所辖地区之间水利发展水平的对比分析结果,揭示流域所辖地区水资源利用、水环境保护、水生态修复、水灾害防治实践中存在的主要问题,剖析流域水利管理体制和机制的不足与改进方向。

### 2.2.4 流域水利发展协同发展效率

在确定流域第 $j$ 地区水利发展水平 $C_j$ 的基础上,基于协调度评价法,可确定流域各个地区之间水利发展的协同发展效率以及流域各个地区与流域整体的水利发展协同效率,即:

$$\begin{cases} D_{jl} = \sqrt{C_{jl} \times T_{jl}} \\ C_{jl} = \left\{ \frac{C_j \times C_l}{\left[ \frac{C_j + C_l}{2} \right]^2} \right\}^t \quad (j \neq l) \\ T_{jl} = w_j \times C_j + w_l \times C_l \\ w_j + w_l = 1 \end{cases} \quad (6)$$



2016年7月

式中  $D_{jl}$  为第  $j$  地区与第  $l$  地区之间水利发展的协同有序发展效率,其中,当  $j=0$  时,  $D_{jl}$  为流域与所辖各个地区之间水利发展的协同发展效率;  $C_{jl}$  为第  $j$  地区与第  $l$  地区之间水利发展的协调度,  $t$  为调节系数,  $t \geq 2$ , 一般情况下,取  $t=2$ ;  $T_{jl}$  为第  $j$  地区与第  $l$  地区之间水利发展的协同发展指数,基于流域所辖各个地区的水利发展对流域社会经济发展具有同等重要性,各个地区之间水利发展必须保持同步,因此取  $w_j = w_l = 0.5$ 。

### 3 实证分析

#### 3.1 研究区概况

淮河流域是新中国成立后实施大江大河治理的第一条河流。淮河流域覆盖4个省区(河南、安徽、江苏和山东),各省的自然地理特征、水资源分布格局、社会经济状况等复杂,造成流域水利在各地之间的协调问题较多。中国政府和淮河流域管理机构相继出台了許多建立健全淮河流域水利管理体制机制的方针政策,以加强淮河流域水利综合管理。学者们对淮河流域水利管理体制的研究,包括水污染防治对策<sup>[28,29]</sup>、综合防灾减灾<sup>[30]</sup>、水环境管理责任机制<sup>[31,32]</sup>等,但目前尚缺乏一套完善的流域水利发展动态评价方法,不能有效地评价流域及所辖区域的水利发展水平和诊断流域水利管理体制机制存在的主要问题。

#### 3.2 沿淮四省水利发展指数动态变化

选择淮河流域2000–2010年指标数据作为研究样本,对淮河流域水利发展水平进行度量评价。指标数据来源于《淮河流域水资源公报》(2000–2010)<sup>[33]</sup>,《江苏省水资源公报》<sup>[34]</sup>(2000–2010),《河南省水资源公报》(2000–2010)<sup>[35]</sup>,《安徽省水资源公报》(2000–2010)<sup>[36]</sup>,《山东省水资源公报》(2000–2010)<sup>[37]</sup>,《江苏省环境状况公报》(2000–2010)<sup>[38]</sup>,《河南省环境状况公报》(2000–2010)<sup>[39]</sup>,《安徽省环境状况公报》(2000–2010)<sup>[40]</sup>,《山东省环境状况公报》(2000–2010)<sup>[41]</sup>。在淮河流域实际调研过程中,由于城镇生活污水集中处理率、工业废污水排放达标率和水功能区水质达标率3个指标能够获取的数据具有不连贯性,为保障水利发展水平评价的可操作性,在实证分析中未将这三个指标计量在内,仅选取指标体

系中其他具有连贯性指标数据进行动态评价。考虑到指标体系中各个维度具有同等重要性,且各个维度指标也具有同等重要性,采用等权法确定指标体系中各个维度和各个维度指标的权重。

##### 3.2.1 水利发展指数动态变化

经计算,2000–2010年淮河流域及沿淮四省水利发展指数,见图2。根据图2可知,在国家、淮河流域管理机构以及沿淮四省地方政府的共同努力下,淮河流域水利发展指数总体呈上升趋势。2000–2010年期间,淮河流域加快转变经济发展方式,优化产业结构布局,加快推进实施水环境管理责任追究制,沿淮四省签订水污染物总量削减目标责任书,沿淮四省水利综合管理效果总体处于不断好转的局势,淮河流域整体的水利发展指数始终保持较高的增长速度,年均增长率为5.6%。其中江苏和山东的水利发展指数提升幅度较大,年均增长率均达到6.0%。河南与安徽的水利发展指数增长速度相对较慢,河南年均增长率为4.1%,安徽增长最慢,年均增长率为3.1%,其主要原因是安徽万元工业增加值用水量在沿淮四省中一直处于最高水平。

##### 3.2.2 水利发展指数的维度变化

经计算,2000年与2010年淮河流域及沿淮四省水利发展指数的维度变化,见表2。

根据表2可知,2000年到2010年期间,淮河流域水资源利用、水环境保护、水生态修复、水灾害防

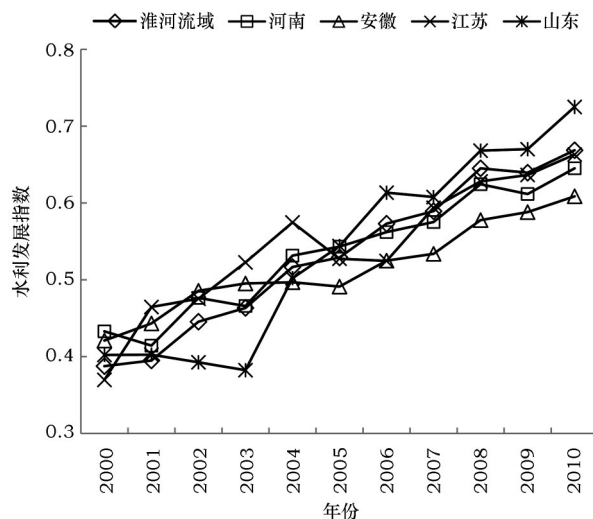


图2 2000–2010年淮河流域四省水利发展指数动态变化

Figure 2 Changing trend of the index of water conservancy development in Huaihe River Basin from 2000 to 2010

表2 2000–2010年淮河流域四省水利发展指数的维度变化

Table 2 Dimensional changing trend of the index of water conservancy development in Huaihe River Basin from 2000 to 2010

维度	年份	淮河流域	河南	安徽	江苏	山东
水资源利用	2000	0.107	0.103	0.130	0.096	0.078
	2010	0.146	0.142	0.139	0.142	0.150
水环境保护	2000	0.099	0.123	0.102	0.105	0.105
	2010	0.169	0.166	0.176	0.160	0.217
水生态修复	2000	0.080	0.084	0.073	0.068	0.073
	2010	0.167	0.156	0.109	0.164	0.168
水灾害防治	2000	0.103	0.123	0.116	0.101	0.145
	2010	0.188	0.182	0.184	0.198	0.190

治四个维度的指数存在不同程度的增长。从各维度指数年均增长率变化来看(见图3),河南水生态修复指数增长最快,年均增长率为6.4%,水环境保护指数增长最慢,年均增长率为3.0%。安徽水环境保护指数增长最快,年均增长率为5.6%,水资源利用指数增长最慢,年均增长率仅达到0.7%。江苏水生态修复指数增长最快,年均增长率为9.2%,水资源利用指数增长最慢,年均增长率为4.0%。山东水生态修复指数增长最快,年均增长率为8.6%,水灾害防治指数增长最慢,年均增长率为6.1%。通过淮河流域所辖各省区四个维度的指数对比分析,山东水资源利用与水环境保护维度增长最快,年均增长率分别为6.7%和7.5%,江苏水生态修复与水灾害防治维度增长最快,年均增长率分别为9.2%和6.0%。

2000–2010年期间,从淮河流域水资源利用、水环境保护、水生态修复、水灾害防治等4个维度的水利发展指数增长变化来看(见表2),江苏2005–2006

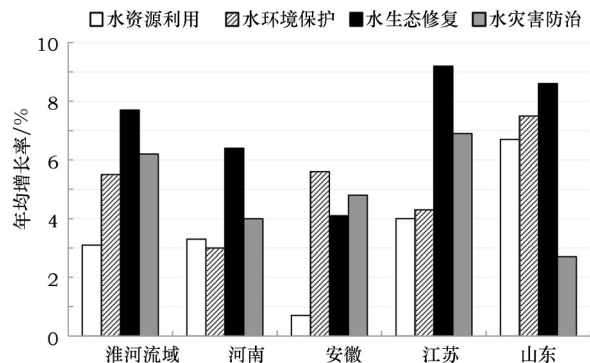


图3 2000–2010年淮河流域四省水利发展指数年均增长率

Figure 3 Average growth rate changing trend of the index of water conservancy development in Huaihe River Basin from 2000 to 2010

年受到人均用水量和万元工业增加值用水量增加的影响,导致水资源利用指数略有下降。安徽2000–2005年受到万元工业增加值用水量和农业灌溉亩均用水量增加、以及水资源开发利用率的影响,导致其水资源利用指数处于下降趋势,同时2003–2004年受到万元GDP废水排放量增加和省界断面水质综合达标率下降的影响,导致其水环境保护指数处于下降趋势。河南2000–2005年受到COD、氨氮排放量和万元GDP废水排放量增加的影响,导致其水环境保护指数处于下降趋势。山东2000–2003年受到COD和氨氮排放量增加的影响,其水环境保护指数处于下降趋势。2006–2010年,沿淮四省不断加强防洪抗旱减灾体系、水资源合理配置与高效利用体系、以及水资源保护与河湖健康保障体系建设,完善水利科学发展制度建设,沿淮四省水利发展指数均保持良好的发展态势(见图2)。

3.2.3 水利发展维度对水利发展指数的平均贡献度

依据淮河流域水利发展的总体变化及4个维度变化,可得出各维度对沿淮四省水利发展指数的平均贡献度(见表3)。水灾害防治对沿淮四省水利发展指数的平均贡献度最高,其次水资源利用对河南的平均贡献度较高,水环境保护对安徽的平均贡献度较高,水生态修复对江苏的平均贡献度较高,水环境保护对山东的平均贡献度较高。

通过将淮河流域COD和氨氮入河排放量与水污染物总量削减目标责任书比较(见表4),2010年末,尽管沿淮四省水污染物排放量不断减少,但从流域层面来看,淮河流域COD排放量超标0.07倍而未达标,氨氮排放量达标;从省级层面来看,山东同

表3 淮河流域四省水资源利用、水环境保护、水生态修复、水灾害防治对水利发展指数的平均贡献度

Table 3 The average contribution to the index of water conservancy development with water resources utilization, water environment protection, water ecology restoration, water disaster prevention

维度	in Huaihe River Basin (%)				
	淮河流域	河南	安徽	江苏	山东
水资源利用	23.1	23.8	23.9	21.7	22.7
水环境保护	23.0	23.5	24.9	24.0	23.9
水生态修复	23.5	21.6	19.2	24.4	20.9
水灾害防治	28.4	29.4	29.9	28.7	30.0



2016年7月

表4 2010年末淮河流域四省COD和氨氮入河排放量与目标责任书比较

Table 4 Compared the goal responsibility agreement of water pollutant reduction with COD and NH<sub>3</sub>-N emission in 2010

	COD(万 t/a)		超标倍数	氨氮(万 t/a)		超标倍数
	目标	监测排放量		目标	监测排放量	
河南	12.7	17.09	0.35	3.20	2.56	达标
安徽	8.90	12.23	0.37	3.10	1.47	达标
江苏	19.10	15.42	达标	1.30	2.29	0.76
山东	5.90	5.21	达标	1.40	0.32	达标
淮河流域	46.60	49.95	0.07	9.00	6.64	达标

数据来源于文献[13].

时完成了COD和氨氮减排目标,而江苏仅完成COD减排目标,河南与安徽仅完成氨氮减排目标。这也进一步揭示了淮河流域水污染物排放控制制度亟待进一步完善。

### 3.2.4 沿淮四省水利发展水平对比分析与协同发展效率

参照图2结果,根据改进的理想解模型,对淮河流域水利发展水平进行横向对比,可得出沿淮四省河南、安徽、江苏、山东之间水利发展水平对比评价结果,水利发展水平由高到低的排列顺序为江苏(0.56)、山东(0.53)、河南(0.43)和安徽(0.34),与图3中沿淮四省水利发展指数动态变化趋势基本吻合。

基于协调度评价法,可计算出流域各个地区之间水利发展水平的协同发展效率,见表5。

根据表5的评价结果可知,江苏与流域水利发展保持最高的协同发展效率,其次是山东、河南和安徽,评价结果与图2中沿淮四省水利发展指数动态变化趋势保持吻合。

从沿淮四省水利发展水平动态评价结果来看,水资源利用受水资源开发利用率、万元工业增加值用水量、万元GDP用水量、农业灌溉亩均用水量的影响较大。这就要求加快推进产业结构优化升级,

加强沿淮四省各行业水资源管理能力,完善用水总量和用水效率控制制度,提高其水资源利用效率与效益,健全水资源合理配置与高效利用体系;水环境保护受COD排放量、氨氮排放量、万元GDP废水排放量、省界断面水质综合达标率的影响较大。这要求完善沿淮四省水功能区纳污控制制度,提高排污绩效,健全水资源保护与河湖健康保障体系;水生态修复受水土流失综合治理率的影响较大,要求加快水土流失综合治理速度,加大水土保持力度;水灾害防治受水旱灾害成灾率的影响较大,要求健全防洪抗旱减灾保障体系,减少水旱灾害成灾率。总体来看,淮河流域有待进一步完善流域水利综合管理体制机制,严格控制用水总量与排污总量,提高用水效率,强化水污染防治,加强水土流失综合治理,增强防灾减灾能力。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

(1)本文基于相关文献研究与实地调研,在剖析流域社会经济发展与水利发展之间的互动机理基础上,从水资源利用、水环境保护、水生态修复以及水灾害防治等综合视角,建立流域水利发展水平评价指标体系。该评价指标体系有效克服了学者们从单一维度对水利发展状况进行的分析,从综合视角更为全面地反映了流域水利发展状况。

(2)本文采用加权综合指数法、理想解模型和协调度评价法,构建了流域水利发展动态评价方法。该方法有效克服了仅从静态角度对特定年份流域水利发展水平进行的评价,反映了不同时期流域水利发展水平的变化趋势,同时实现了对流域内各地区水利发展水平的对比分析,体现了流域内各地区水利发展水平的协同发展效率。

表5 2000—2010年沿淮四省水利发展水平的协同发展效率

Table 5 Coordinated development degree of water conservancy development level among four regions in Huaihe River Basin from 2000 to 2010

地区	河南	安徽	江苏	山东	淮河流域
河南	—	0.613	0.692	0.687	0.672
安徽	—	—	0.630	0.628	0.621
江苏	—	—	—	0.736	0.713
山东	—	—	—	—	0.706

(3)以往学者们针对淮河流域水利发展状况的评价,主要围绕水资源利用、水环境保护、水生态修复以及水灾害防治四个维度中的单一维度进行分析。没有从综合视角体现不同时期淮河流域水利发展水平的动态变化。本文应用该方法从综合视角实证分析了2000–2010年淮河流域水利发展指数动态变化趋势,揭示了沿淮四省水利发展指数动态变化的动因,确定了各维度指标对水利发展指数的平均贡献度,对比分析了沿淮四省水利发展水平,评价了流域各个地区之间水利发展水平的协同发展效率。该方法弥补了已有成果单一维度分析的不足,更好的把握了淮河流域水利发展存在的综合问题。

(4)淮河流域水利发展水平动态评价的结果表明,2000–2010年期间,淮河流域水利发展指数保持较快的增长趋势,年均增长率达到5.6%。同时,沿淮四省水利发展指数均有不同程度的提升,按提升速度排序依次为江苏、山东、河南和安徽。按水利发展水平的优劣排序依次为江苏、山东、河南和安徽。评价结果与淮河流域水利发展实践相吻合,进一步验证了本文构建的流域水利发展水平评价方法的可行性。

(5)淮河流域水利发展水平动态评价的结果表明,淮河流域水资源利用受水资源开发利用率、万元工业增加值用水量、万元GDP用水量、农业灌溉亩均用水量的影响较大,水环境保护受COD排放量、氨氮排放量、万元GDP废水排放量、省界断面水质综合达标率的影响较大,水生态修复受水土流失综合治理率的影响较大,水灾害防治受水旱灾害成灾率的影响较大。评价结果与淮河流域各维度发展状况相吻合,说明本文构建的流域水利发展水平评价方法不仅能够反映单一维度存在的问题,也能体现淮河流域水利发展存在的综合问题。

## 4.2 建议

从淮河流域水利发展水平动态评价结果来看,尽管淮河流域及沿淮四省水利综合管理能力都有所增强,但淮河流域水利综合管理体制机制仍存在很多不足,亟待进一步完善。这就要求加快转变发展方式,增强全民节约意识、环保意识、生态意识。从水资源利用、水环境保护、水生态修复、水灾害防

治四个方面,推进建立水生态文明建设要求的目标体系、考核办法、奖惩机制,健全水生态环境管理责任追究制度和环境损害赔偿制度。一方面,加快推进落实最严格的水资源管理制度,实施水资源管理责任考核制度,加强流域用水总量控制,提高流域水资源利用效率与综合效益。另一方面,建立健全流域水环境管理问责制,保障问责的顺利实施,达到严格控制流域排污总量的目标。

## 参考文献(References):

- [1] George B, Malano H, Davidson B, et al. An integrated hydro-economic modeling framework to evaluate water allocation strategies I: Model development[J]. *Agricultural Water Management*, 2011, 98(5): 733–746.
- [2] Lecina S, Neale C M U, Merkley G P, et al. Irrigation evaluation based on performance analysis and water accounting at the Bear River Irrigation Project (U.S.A.)[J]. *Agricultural Water Management*, 2011, 98(9): 1349–1363.
- [3] Stefano L D, Gilsanz J D P, Gil F V. A methodology for the evaluation of water policies in European countries[J]. *Environmental Management*, 2010, 45(6): 1363–1377.
- [4] Rimidis A, Dierickx W. Evaluation of subsurface drainage performance in Lithuania[J]. *Agricultural Water Management*, 2003, 59(1): 15–31.
- [5] Mujumdar P P, Sasikumar K. A fuzzy risk approach for seasonal water quality management of a river system[J]. *Water Resour. Res.*, 2002, 38(1): 1–9.
- [6] Freni G, Mannina G, Viviani G. Assessment of the integrated urban water quality model complexity through identifiability analysis[J]. *Water Research*, 2011, 45(1): 37–50.
- [7] Ruzicka I. Conceptual Framework for an Environmental Performance Assessment (EPA) System for GMS Countries[C]. Kunming: National Performance Assessment and Strategic Environment Framework Phase II, 2003.
- [8] Li C, Li S, Wang J, et al. The Comparison of the Value Engineering Method and Hydraulic Method on Water Distribution Systems Performance Evaluation[C]. Reston, VA: World Environmental and Water Resources Congress, 2011.
- [9] Uricchio V F, Giordano R, Opez N I. A fuzzy knowledge-based decision support system for groundwater pollution risk evaluation [J]. *Journal of Environmental Management*, 2004, 73(3): 189–197.
- [10] Rodriguez- Diaz J A, Camacho- Poyato E, López- Luque R. Application of data envelopment analysis to studies of irrigation

2016年7月

- efficiency in Andalusia[J]. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 2004, 130(3): 175-183.
- [11] 来海亮,汪党献,吴涤非.水资源及其开发利用综合评价指标体系[J]. 水科学进展, 2006, 17(1): 95-101. [Lai H L, Wang D X, Wu D F. Comprehensive assessment indicator system for water resources and its development and use[J]. *Advances In Water Science*, 2006, 17(1): 95-101.]
- [12] 高媛媛,许新宜,王红瑞,等.中国水资源利用效率评估模型构建及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(3): 776-784. [Gao Y Y, Xu X Y, Wang H R, et al. New model for water use efficiency evaluation of China and its application[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2013, 33(3): 776-784.]
- [13] 张欣莉,丁晶,李祚泳,等.投影寻踪新算法在水质评价模型中的应用[J]. 中国环境科学, 2000, 20(2): 187-189. [Zhang X L, Ding J, Li Z Y, et al. Application of new projection pursuit algorithm in assessing water quality[J]. *China Environmental Science*, 2000, 20(2): 187-189.]
- [14] 王大鹏,朱迎春.中国七大流域水环境效率动态评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(9): 20-25. [Wang D P, Zhu Y C. The dynamic eco-efficiency analysis of seven drainage areas of China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(9): 20-25.]
- [15] 王亚华,吴丹.淮河流域水环境管理绩效动态评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(12): 32-38. [Wang Y H, Wu D. Dynamic performance evaluation of water environment management in Huai River basin[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(12): 32-38.]
- [16] 吴丹,王士东,马超.流域地方政府水环境保护绩效考评体系设计及其应用[J]. 水资源保护, 2014, 30(6): 80-86. [Wu D, Wang S D, Ma C. Design and application of water environmental protection performance appraisal system by local government in a river basin[J]. *Water Resources Protection*, 2014, 30(6): 80-86.]
- [17] 黄昌硕,耿雷华,王立群,等.中国水资源及水生态安全评价[J]. 人民黄河, 2010, 32(3): 14-16. [Huang C S, Geng L H, Wang L Q, et al. Evaluation on China water resources and water ecological security[J]. *Yellow River*, 2010, 32(3): 14-16.]
- [18] 王雪梅,刘静玲,马牧源,等.流域水生态风险评价及管理对策[J]. 环境科学学报, 2010, 30(2): 237-245. [Wang X M, Lu J L, Ma M Y, et al. Aquatic ecological risk assessment and management strategies in a watershed: An overview[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, 30(2): 237-245.]
- [19] 何俊仕,王林威,刘洋.沈阳市水生态环境安全评价指标体系研究[J]. 水电能源科学, 2011, 29(9): 31-34. [He J S, Wang L W, Liu Y. Research on safety evaluation index system of water eco-environment for Shenyang City[J]. *Water Resources and Power*, 2011, 29(9): 31-34.]
- [20] 刘荆,蒋卫国,杜培军,等.基于相关分析的淮河流域暴雨灾害风险评估[J]. 中国矿业大学学报, 2009, 38(5): 734-740. [Liu J, Jiang W G, Du P J, et al. Rainstorm risk assessment of Huai River based on correlation analysis[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2009, 38(5): 734-740.]
- [21] 黄大鹏,郑伟,张人禾,等.安徽淮河流域洪涝灾害防灾减灾能力评估[J]. 地理研究, 2011, 30(3): 523-530. [Huang D P, Zheng W, Zhang R H, et al. Assessment of capacity of flood disaster prevention and reduction of Huai River basin in Anhui Province[J]. *Geographical Research*, 2011, 30(3): 523-530.]
- [22] 毛春梅.水利防灾能力与经济社会发展协调度评价探讨[J]. 水利经济, 2007, 25(5): 14-16. [Mao C M. Evaluation of coordination degree between capability of water resources disaster prevention and development of economy and society[J]. *Journal of Economics of Water Resources*, 2007, 25(5): 14-16.]
- [23] 杨丽英,许新宜,王红瑞,等.中国水利现代化发展水平综合评价分析[J]. 资源科学, 2011, 33(9): 1708-1713. [Yang L Y, Xu X Y, Wang H R, et al. A comprehensive evaluation of the development of water conservation modernization in China[J]. *Resources Science*, 2011, 33(9): 1708-1713.]
- [24] 毛慧慧,王勇,董琳.海河流域水利与经济社会协调发展定量评价[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10): 44-47. [Mao H H, Wang Y, Dong L. The quantitative evaluation of coordinated development between water conservancy and economic society in Haihe basin[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(10): 44-47.]
- [25] 张海涛,谢新民,钟玉秀,等.基于模糊聚类循环迭代模型的地方水利发展现状评价[J]. 水电能源科学, 2013, 31(8): 135-139. [Zhang H T, Xie X M, Zhong Y X, et al. Development current situation evaluation of local water conservancy based on fuzzy clustering cycle iterative model[J]. *Water Resources and Power*, 2013, 31(8): 135-139.]
- [26] 邢华,赵景华.流域与区域水利发展协调性评价-以淮河流域为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(10): 7-12. [Xing H, Zhao J. Coordination evaluation on basin and regional water conservancy development: Taking Huaihe basin as example[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(10): 7-12.]
- [27] 马婷,王乃岳.水利支撑经济社会发展能力评价指标体系构建及实证研究[J]. 水利经济, 2013, 31(6): 8-12. [Ma T, Wang N. Establishment and empirical study of evaluation system of supporting capacity of water conservancy for socioeconomic development[J]. *Journal of Economics of Water Resources*, 2013, 31(6): 8-12.]
- [28] 周志强,王飞.淮河流域水污染成因及防治对策探讨[J]. 中国水利, 2005, (22): 23-25. [Zhou Z Q, Wang F. Causes for water pollution in Huai river basin and prevention measures[J]. *China Water Resources*, 2005, (22): 23-25.]



- [29] 张军,邵天一.淮河流域水污染防治的政策思路研究[J].环境与可持续发展,2008,(2):43-44. [Zhang J, Shao T Y. The policy of water pollution prevention and control in Huai river basin [J]. *Environment and Sustainable Development*, 2008, (2):43-44.]
- [30] 王飞,张婷.淮河流域水旱灾害成因与减灾策略探讨[J].中国水利,2012,(17):32-34. [Wang F, Zhang T. Discussion of causes of flood and drought disaster and mitigation strategies[J]. *China Water Resources*, 2012, (17):32-34.]
- [31] 宋国君,金书秦.淮河流域水环境保护政策评估[J].环境污染与防治,2008,30(4):78-82. [Song G J, Jin S Q. Evaluation on the policies for water environmental protection in Huai river basin [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2008, 30(4):78-82.]
- [32] 王亚华,吴丹.流域地方政府水环境管理责任机制设计[J].环境保护,2012,(18):38-41. [Wang Y H, Wu D. Design of water environmental protection management responsibility system by local government in a river basin[J]. *Environmental protection*, 2012, (18):38-41.]
- [33] 淮河流域水利委员会.淮河流域水资源公报(2000-2010)[EB/OL].(2011-11-04)[2015-04-13]. <http://www.hrc.gov.cn/smodel?model=hrc>. [Water Resources Commission of Huai River Basin. Water Resources Bulletin in the Huai River Basin (2000-2010) [EB/OL]. (2011-11-04) [2015-04-13]. <http://www.hrc.gov.cn/smodel?model=hrc>.]
- [34] 江苏省水利厅.江苏省水资源公报(2000-2010)[EB/OL].(2011-09-22)[2015-04-13]. <http://www.jswater.gov.cn/col/col1075/index.html>. [Department of Water Resources in Jiangsu Provincial. Water Resources Bulletin in Jiangsu Provincial (2000-2010) [EB/OL]. (2011-09-22) [2015-04-13]. <http://www.jswater.gov.cn/col/col1075/index.html>.]
- [35] 河南省水利厅.河南省水资源公报(2000-2010)[EB/OL]. [2015-04-13]. <http://www.hnsl.gov.cn/viewCmsCac.do?cacId=ff8080812afa870c012afae4033c00c0>. [Department of Water Resources in Henan Provincial. Water Resources Bulletin in Henan Provincial (2000-2010) [EB/OL]. [2015-04-13]. <http://www.hnsl.gov.cn/viewCmsCac.do?cacId=ff8080812afa870c012afae4033c00c0>.]
- [36] 安徽省水利厅.安徽省水资源公报(2000-2010)[EB/OL]. (2012-10-29)[2015-04-13]. <http://www.wswj.net/sm2111111169.asp>. [Department of Water Resources in Anhui Provincial. Water Resources Bulletin in Anhui Provincial (2000-2010) [EB/OL]. (2012-10-29) [2015-04-13]. <http://www.wswj.net/sm2111111169.asp>.]
- [37] 山东省水利厅.山东省水资源公报(2000-2010)[EB/OL]. (2010-03-15)[2015-04-13]. <http://www.sdwr.gov.cn/zwgk/szygb/>. [Department of Water Resources in Shandong Provincial. Water Resources Bulletin in Shandong Provincial (2000-2010) [EB/OL]. (2010-03-15) [2015-04-13]. <http://www.sdwr.gov.cn/zwgk/szygb/>.]
- [38] 江苏省环保厅.江苏省环境状况公报(2000-2010)[EB/OL]. (2011-06-03)[2015-04-13]. <http://www.jshb.gov.cn/jshbw/hbz/ndhjzkgb/>. [Department of Environmental Protection in Jiangsu Provincial. Environmental Bulletin in Jiangsu Provincial (2000-2010) [EB/OL]. (2011-06-03) [2015-04-13]. <http://www.jshb.gov.cn/jshbw/hbz/ndhjzkgb/>.]
- [39] 河南省环保厅.河南省环境状况公报(2000-2010)[EB/OL]. (2011-06-05)[2015-04-13]. <http://www.hnep.gov.cn/tabid/432/Default.aspx>. [Department of Environmental Protection in Henan Provincial. Environmental Bulletin in Henan Provincial (2000-2010) [EB/OL]. (2011-06-05) [2015-04-13]. <http://www.hnep.gov.cn/tabid/432/Default.aspx>.]
- [40] 安徽省环保厅.安徽省环境状况公报(2000-2010)[EB/OL]. (2011-06-03)[2015-04-13]. <http://www.aepb.gov.cn:8081/zwgk/xxgkweb/blue/index.jsp?unit=002985878>. [Department of Environmental Protection in Anhui Provincial. Environmental Bulletin in Anhui Provincial (2000-2010) [EB/OL]. (2011-06-03) [2015-04-13]. <http://www.aepb.gov.cn:8081/zwgk/xxgkweb/blue/index.jsp?unit=002985878>.]
- [41] 山东省环保厅.山东省环境状况公报(2000-2010)[EB/OL]. (2011-06-08)[2015-04-13]. <http://xxgk.sdein.gov.cn/xxgkml/hjzkgb/>. [Department of Environmental Protection in Shandong Provincial. Environmental Bulletin in Shandong Provincial (2000-2010) [EB/OL]. (2011-06-08) [2015-04-13]. <http://xxgk.sdein.gov.cn/xxgkml/hjzkgb/>.]

## Modeling an evaluation method of water conservancy development in Huaihe River Basin

WU Dan

*(School of Economics and Management, North China University of Technology, Beijing 100144, China)*

**Abstract:** Based on water conservancy development for river basins in China and abroad, this study analyzed the interaction mechanism between socio- economic development and water conservancy development in river basins, and the main factors that influence water conservancy development. The article set clear objectives for socio- economic development and water conservancy development, and designs an evaluation index system for water conservancy development in river basins across four dimensions: water resource utilization, water environment protection, water ecological restoration and water disaster prevention. Combined with the weighted composite index method, TOPSIS model and coordinative degree evaluation method, a dynamic evaluation model of water conservancy development in river basins is developed. An empirical analysis was done of the evaluation of the Huaihe River basin in order to analyze dynamic trends in the evaluation index of water conservancy development and the coordinative development degree among regions in this basin in 2000 to 2010. Results illustrate that the index of water conservancy development among four provinces improved from 2000 to 2010. For the growth rate of the index, Jiangsu province has the fastest growth rate, then Shandong, Henan, and Anhui. For the level of water conservancy development in the Huaihe River basin, the highest is Jiangsu, then Shandong, Henan, and Anhui.

**Key words:** water conservancy development; evaluation; index system; Topsis Model; Coordinative Degree Evaluation; Huaihe River Basin