

# 西北地区水环境与经济发展耦合关系的实证分析

王永良, 张维江

(宁夏大学土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021)

**摘要:** 针对区域环境资源与经济发展不匹配问题,采用耦合协调度模型对西北地区水环境与经济发展系统耦合关系进行分析。结果表明:西北地区经济发展指数整体低于水环境系统综合指数;西北地区水环境与经济发展协调度整体水平较低,除宁夏处于初级耦合状态外,其余4省(自治区)均处于不同程度的失调状态;西北地区水环境与经济发展耦合度处于中低度耦合状态,其系统发展经历了极度失调衰退、严重失调衰退和中度失调衰退3种状态。结果表明:结合区域经济发展特点和水环境空间分布特征,应采取有针对性的措施提升水环境状况和经济发展的耦合水平,推动水环境与经济发展的综合效益最大化。

**关键词:** 水环境; 经济发展; 协调度; 耦合度; 西北地区

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2021)05-0056-05

## Empirical analysis of coupling relationship between water environment and economic development in northwest China

WANG Yongliang, ZHANG Weijiang

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

**Abstract:** Aiming at the mismatch between regional environmental resources and economic development, the coupling coordination degree model is used to analyze the coupling relationship between water environment and economic development system in northwest China. The results show that the overall economic development index of northwest China is lower than the comprehensive index of water environment system. The overall coordination degree of water environment and economic development is generally low in northwest China. Except Ningxia which is in a primary coupling state, the other four provinces and autonomous regions are all in different degrees of imbalance. The coupling degree of water environment and economic development in northwest China is in a medium low coupling state, and its system development has experienced three states, which are extreme maladjustment recession, serious maladjustment recession and moderate maladjustment recession. It is suggested that targeted measures should be taken to improve the coupling level of water environment and economic development with the consideration of the characteristics of regional economic development and spatial distribution of water environment, so as to maximize the comprehensive benefits of water environment and economic development.

**Key words:** water environment; economic development; coordination degree; coupling degree; northwest China

## 1 研究背景

水环境与经济发展系统之间存在着复杂的动态耦合机理,经济的快速发展增加了水资源的供给压力,水环境质量的不断下降,对经济的发展产生约束

作用,反映在经济发展的相应指标上,对经济发展带来较大的影响。水资源的过度开发利用和水环境质量的下降加剧了水资源短缺的状况,进而影响经济社会的发展<sup>[1]</sup>。目前,已有学者从不同的角度和切入点就经济发展对水环境污染<sup>[2]</sup>、水环境质量<sup>[3]</sup>、

收稿日期:2020-10-28; 修回日期:2021-06-21

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划重大(重点)项目(2018ZDKJ0040)

作者简介:王永良(1990-),男,河南许昌人,博士研究生,研究方向为旱区水资源调控理论及技术。

通讯作者:张维江(1963-),男,宁夏海原人,教授,博士生导师,研究方向为旱区水资源调控理论及技术。

水环境承载力<sup>[4]</sup>的影响机制,水环境对经济增长<sup>[5-6]</sup>、产业结构<sup>[7]</sup>、经济发展<sup>[8-11]</sup>之间的协调性开展了大量的研究,水环境与经济发展系统的耦合协调关系成为研究中的热点。王洁方等<sup>[12]</sup>构建了水环境与社会经济协调度发展模型,通过分析认为黄河流域水环境与社会经济协调度整体较低但呈上升趋势;金凤君等<sup>[13]</sup>基于流域生态环境与经济发展状况,分析了产业发展对资源环境的胁迫特征,提出了区域产业发展优化的建议;郑欣等<sup>[14]</sup>构建了资源环境与社会经济的评价指标体系,分析认为鄂尔多斯市资源环境承载力呈上升趋势;常玉苗<sup>[15]</sup>通过构建水资源环境与城市生态经济发展模型,验证了水资源环境与城市生态经济耦合协调度模型的合理性。聂晓等<sup>[16]</sup>通过耦合协调度模型分析了湖北省水资源环境与经济发展之间的耦合协调度水平,结果表明二者耦合协调度呈现阶段性增长趋势;刘艺等<sup>[17]</sup>利用环境库兹涅茨曲线与耦合关联度模型,对济南市水资源环境与经济发展的关系进行了详细的探讨,并且引入弹性预测的方法预测了二者之间的发展前景;邢霞等<sup>[18]</sup>、喻笑勇等<sup>[19]</sup>、曹睿喆<sup>[20]</sup>基于耦合协调度模型,分别在流域、省域、城市群等不同空间尺度上定量评价了水资源环境与经济发展的协调关系。

目前在对水环境与经济发展耦合协调关系进行研究时,对指标的选取比较单一,且整体评价不尽全面合理。基于此,本文结合西北地区水环境状况和经济发展水平现状,考虑从资源条件、环境压力、经济水平、经济结构和经济规模 5 个体系共选取 13 个指标,在熵值法的基础上,采用耦合协调度模型的方

法,研究分析了水环境和经济发展之间的耦合作用机理,揭示了水环境与经济发展的影响因素,为提升水环境质量和实现区域经济的健康发展提供理论依据。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 研究区概况

西北地区地处我国西北内陆,是黄河中上游和黄土高原西部生态安全屏障的重要支撑。包括陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆 5 个省(自治区),总面积  $320 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,约占全国总面积的 30%。气候以温带大陆性气候和高寒气候为主,降水稀少、气候干旱、生态脆弱、光照充足,河流和湖泊总体较少,多为内流河湖,年降水量从东部的约 400 mm 向西逐渐递减。区域水资源时空分布不均,受气候变化和人类活动的影响,水环境问题突出,成为影响区域可持续发展的主要因素之一。本文研究选择我国西北 5 省(自治区)为研究对象,其区域背景、气候条件、经济发展水平均存在较大的差异,对于对比分析西北地区水环境系统和区域经济发展的耦合作用机理具有典型意义。

### 2.2 指标选取与数据来源

以西北地区 5 个省(自治区)为例,根据研究区水环境质量和城市经济发展水平的实际现状,以经济水平、经济规模和经济结构为切入点,考虑资源条件和环境压力等方面的因素,选取了表 1 中所示的 5 个体系共 13 组指标数据进行耦合协调度分析。相关数据分别来自于 2019 年《中国水资源公报》和 2020 年《中国统计年鉴》。

表 1 经济发展与水环境系统耦合关系评价指标体系

评价系统	指标体系	评价指标/单位	选择依据
水环境系统	资源条件	降水量/mm	反映一个地区降水量的多少
		地表水资源量/ $10^8 \text{ m}^3$	反映水体逐年更新的动态水量
		地下水资源量/ $10^8 \text{ m}^3$	从人均的角度反映整体用水状况
	环境压力	人均综合用水量/ $\text{m}^3$	从用水结构的角反映农业整体用水情况
		灌溉水有效利用系数	反映地区生态系统和水环境系统的承受及恢复能力
经济发展系统	经济水平	生态环境补水量/ $10^8 \text{ m}^3$	反映社会人口的结构状况,综合体现经济发展水平
		城镇化率%	从人均可支配收入的角度反映经济水平
	经济结构	人均可支配收入/元	反映经济结构的优化程度
		第一产业占 GDP 比重/%	反映经济结构的优化程度
	经济规模	第二、三产业占 GDP 比重/%	反映城市用水的经济效益
	万元 GDP 用水量/ $\text{m}^3$	反映工业用水规模	
		万元工业增加值用水量/ $\text{m}^3$	

### 2.3 耦合协调度模型

(1) 数据预处理。采用线性函数归一化方法对原始数据进行预处理,将原始数据映射到 $[0,1]$ 范围,实现对数据的等比缩放,归一化公式如下:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_j\}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}} \quad (1)$$

式中: $X_{ij}$ 、 $X'_{ij}$ 分别为第*i*年第*j*项指标数据归一化前后的值; $\max\{X_j\}$ 、 $\min\{X_j\}$ 为第*j*项指标的最大值和最小值。

(2) 系统发展模型。为反映水环境系统和区域经济的发展水平,采用发展度函数<sup>[21]</sup>的计算公式:

$$T = \lambda f(x)^\alpha g(y)^{1-\alpha} \quad (2)$$

式中: $T$ 为发展度; $f(x)$ 、 $g(y)$ 分别为水环境系统与经济发展系统归一化后的综合指数; $\lambda$ 为外生变量; $\alpha$ 、 $1-\alpha$ 体现了水环境系统与经济发展系统在总系统中的重要性程度。

(3) 系统协调模型。偏离系数 $C_v$ 用来刻画变量之间的偏离程度,希望 $f(x)$ 与 $g(y)$ 的离差越小越好。偏离系数 $C_v$ 及协调度 $C$ 的计算公式如下:

$$C_v = \sqrt{2(1-C)} \quad (3)$$

$$C = \left[ \frac{4f(x)g(y)}{(f(x)+g(y))^2} \right]^2 \quad (4)$$

(4) 系统耦合模型。协调度 $C$ 可以反映出水环境系统与经济发展水平的偏离程度,但难以反映两者整体功能和效益大小,因此引用耦合度 $D$ 作为度量水环境和经济发展水平高低的定量指标,其计算公式如下:

$$D = \sqrt{CT} \quad (5)$$

根据协调度 $C$ 和耦合度 $D$ 的值,采用分值法将其划分为10个等级<sup>[22]</sup>,如表2所示。

表2 协调度及耦合度的等级划分

协调度 $C$ 等级划分		耦合度 $D$ 等级划分	
$C$ 值	等级	$D$ 值	等级
0.00 ~ 0.09	极度失调	0.00 ~ 0.09	极度失调衰退
0.10 ~ 0.19	严重失调	0.10 ~ 0.19	严重失调衰退
0.20 ~ 0.29	中度失调	0.20 ~ 0.29	中度失调衰退
0.30 ~ 0.39	轻度失调	0.30 ~ 0.39	轻度失调衰退
0.40 ~ 0.49	濒临失调	0.40 ~ 0.49	濒临失调衰退
0.50 ~ 0.59	勉强耦合	0.50 ~ 0.59	勉强耦合协调
0.60 ~ 0.69	初级耦合	0.60 ~ 0.69	初级耦合协调
0.70 ~ 0.79	中级耦合	0.70 ~ 0.79	中级耦合协调
0.80 ~ 0.89	良好耦合	0.80 ~ 0.89	良好耦合协调
0.90 ~ 1.00	优质耦合	0.90 ~ 1.00	优质耦合协调

## 3 结果与分析

### 3.1 计算结果

依据2019年西北地区5个省(自治区)水环境与经济发展的相关指标数据资料,采用公式(1)对指标数据进行归一化处理,针对归一化后的水环境和经济发展系统的指标集,运用熵值法和综合指数模型计算两个系统的综合评价,具体计算方法详见文献[23]。由公式(2)~(5)计算发展度 $T$ 、协调度 $C$ 及耦合度 $D$ 的值,根据计算结果按照表2对各省(自治区)经济发展与水环境系统协调耦合度进行等级划分,见表3。需要注意的是,采用公式(2)计算发展度 $T$ 时,由于水环境和经济发展的地位同等重要,故取 $\alpha = 0.5$ , $\lambda = 1$ 。

表3 2019年西北地区5省(自治区)经济发展与水环境系统协调耦合度计算结果及等级

省(自治区)	$f(x)$	$g(y)$	$C$	$T$	$D$	协调度状态	耦合度状态
陕西	0.273	0.003	0.002	0.030	0.008	极度失调	极度失调衰退
甘肃	0.229	0.049	0.336	0.106	0.189	轻度失调	严重失调衰退
青海	0.243	0.034	0.186	0.091	0.130	严重失调	严重失调衰退
宁夏	0.153	0.059	0.647	0.095	0.248	初级耦合	中度失调衰退
新疆	0.777	0.135	0.254	0.324	0.286	中度失调	中度失调衰退

### 3.2 水环境与经济发展系统综合指数分析

采用基于熵值法的综合指数模型,测算了我国西北5个省(自治区)2019年水环境与经济发展系统的综合评价。根据表3绘制西北地区水环境与经济发展系统耦合结果,见图1。

由图1可以看出,西北地区5个省(自治区)水环境条件和经济发展水平存在明显的两极分化,这是由于各地区受地理位置、自然条件、产业结构等多

种因素的影响,在追求经济增长的同时,经济发展与资源环境的关系还处于探索阶段。从水环境系统综合指数值 $f(x)$ 来看,新疆维吾尔自治区的水环境系统综合指数值最高,达到了0.777,这可能与该地区水资源条件和水环境压力有关,2019年该地区的地表水和地下水资源量分别为 $829.7 \times 10^8$ 、 $508.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,人均综合用水量占比较大,这是导致 $f(x)$ 值较大的主要原因;从经济发展综合指数值 $g(y)$ 来

看,西北5省(自治区)排名由大到小依次为新疆维吾尔自治区、宁夏回族自治区、甘肃省、青海省和陕西省(以下简称新疆、宁夏、甘肃、青海、陕西)。2019年陕西万元GDP用水量和万元工业增加值用水量相对偏低,导致能源消耗较少,区域发展水平较低。

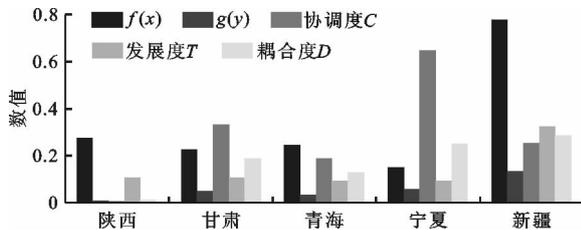


图1 2019年西北地区5省(自治区)水环境与经济发展系统耦合结果

从水环境与经济发展系统综合指数来看,西北地区经济发展指数值低于水环境系统综合指数值,这是导致水环境与经济发展系统耦合关系处于中低耦合水平的主要原因。表明西北地区没有根据实际在水资源供给、水环境保护方面实现资源的合理配置,水环境与经济发展模式有待进一步优化。虽然计算得出了水环境系统与经济发展系统综合指数值,但对二者的动态演进关系并不明晰。当区域经济的发展优于水环境系统时,就会出现水环境质量下降、水资源供应不足,资源环境系统对区域经济的约束作用也愈加明显,主要表现为区域经济的发展是以消耗资源环境为代价的发展状态;当区域经济的发展劣于水环境系统时,主要表现为环境资源的消耗对区域经济的发展没有实现优化配置,二者处于一种盲目的消极状态。当资源环境与区域经济的发展处于协调状态时,经济的发展可促进资源环境的节约和保护,同时优质的资源环境也能为区域经济的发展提供充足的资源保障。

### 3.3 水环境与经济发展系统耦合分析

(1)协调度分析。由表3中计算结果可知,2019年西北地区5个省(自治区)的水环境与经济发展系统协调度C值均在0~0.7之间,表明西北5省(自治区)的水环境与经济发展处于失调状态,其系统发展为极度失调、严重失调、中度失调、轻度失调和初级耦合5种状态。由各省(自治区)的协调度计算值来看,宁夏处于初级耦合阶段,协调度在0.60~0.69之间,说明该地区水环境状况和经济发展水平相互协调,二者发展程度差别不大,存在共生现象。陕西、青海、新疆、甘肃4省(自治区)则处于失调状态,虽然受产业结构、经济发展水平的限制,

但该地区水环境状况发展较好,具有地表水和地下水资源量相对丰富、人均综合用水量和灌溉亩均用水量较低、生态环境补水量较高等特点,优化了水环境发展状况。青海灌溉亩均用水量较高,灌溉水有效利用系数、生态环境补水量相对较低,这在很大程度上阻滞了经济发展的水平,协调度呈现出严重失调的状态,仍具有较大的提升潜力和发展空间。

(2)耦合度分析。由表3中计算结果可知,2019年西北地区5个省份的水环境与经济发展系统耦合度D值均在0~0.3之间,表明西北5省(自治区)水环境与经济发展耦合度状态处于极度失调衰退、严重失调衰退和中度失调衰退3个阶段。结合西北5省(自治区)水环境状况和经济发展水平现状,表3中的计算结果基本可以反映该地区的实际情况。宁夏、新疆水环境与经济发展系统综合指数值总体较高,水环境状况和经济发展水平排名均靠前,良好的资源环境条件为区域经济的发展提供了充足的保障,同时区域经济的发展也推动了对资源环境的节约与保护,二者促进了水环境与经济发展的良性互动,呈现出中度失调衰退状态;甘肃、青海水环境与经济发展系统耦合度数值均处在0.1~0.2之间,表现为严重失调衰退阶段,且人均综合用水量、灌溉亩均用水量、万元GDP用水量均处于西北5省(自治区)的中间水平,但青海生态环境补水量相对偏小,导致水环境状态评估值耦合程度较低;陕西耦合度值仅为0.008,处于极度失调衰退阶段,这是因为陕西水环境状况评估与经济发展水平均处于较低的水平,主要表现为区域经济社会的发展受资源条件和产业结构的影响,环境资源的消耗对区域经济的发展没有实现资源-环境-经济的优化配置,故而表现为一种消极的状态。

## 4 结论与讨论

(1)从水环境与经济发展系统综合指数来看,西北地区水环境和经济发展水平存在明显的两极分化,经济发展系统综合指数整体低于水环境系统综合指数,经济发展与资源环境的关系还处于探索阶段。从水环境系统综合指数值来看,西北5省(自治区)水环境综合指数差异明显,新疆水环境系统综合指数值最高,其他省份仍具有较大的潜力和提升空间;从经济发展综合指数值来看,由于受地理位置、自然条件、产业结构等多种因素的影响,各省(自治区)经济发展综合指数空间分布也有较大不同,青海、陕西受资源环境的限制,经济发展综合指数相对较低,资源环境的缺乏阻碍了经济的进一步

发展。因此,在提升水环境与经济发展水平的同时,应根据实际在资源供给、水环境保护方面实现资源的合理配置,进一步优化水环境与经济发展模式。

(2)西北5省(自治区)水环境与经济发展协调度整体水平较低,除宁夏处于初级耦合状态外,其他省(自治区)均处于不同程度的失调状态。说明宁夏水环境状况和经济发展水平相互协调,二者发展程度差别不大,存在共生现象。陕西、青海、新疆、甘肃4省(自治区)处于失调状态,虽然这些地区水环境状况发展较好,但经济发展水平的差异降低了二者的协调度水平,这是导致水环境与经济发展协调度处于中低度失调的主要原因,这些地区应结合自身实际,因地制宜采取针对性措施解决这种失调状态,提升二者的协调度水平。

(3)西北5省(自治区)的水环境与经济发展耦合度处于极度失调衰退、严重失调衰退和中度失调衰退3个阶段,仍具有较大的提升潜力和发展空间。其中,宁夏、新疆的水环境与经济发展系统综合指数值相对较高,水环境状况和经济发展水平均排名靠前,二者促进了水环境与经济发展的良性互动;甘肃和青海的水环境与经济发展系统耦合度表现为严重失调衰退状态,其中青海的生态环境补水量相对偏小,导致水环境状态评估值耦合程度较低;陕西水环境与经济发展水平均处于较低的水平,主要表现为区域经济社会的发展受资源条件、产业结构的影响,环境资源的消耗对区域经济的发展没有实现资源环境的合理配置,故而表现为一种消极的状态。

此外,各省(自治区)应根据自身的实际状况,采取有针对性的措施提升水环境状况和经济发展的耦合水平。例如,对于水环境状况评估值较高的省(自治区),由于产业结构、经济水平的影响导致耦合度相对较差,这类地区应该从优化产业结构、提升经济发展水平入手,进而改善水环境和经济发展的耦合协调程度,实现优质耦合协调发展状态。

#### 参考文献:

[1] 吴青松,马军霞,左其亭,等.塔里木河流域水资源-经济社会-生态环境耦合系统和谐程度量化分析[J].水资源保护,2021,37(2):55-62.

[2] 刘艺,张郑贤,张锋贤,等.近15年山东省水环境污染与经济发展关系研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2019,17(6):414-422.

[3] 郑灿,杨子超,邱小琮,等.宁夏引黄灌区排水沟水环境质量及其影响因素[J].水土保持通报,2018,38(6):74-79+87.

[4] 杨东明,卢韵竹,王富强,等.基于量-质耦合协调发展的城市水环境承载力评价[J].华北水利水电大学学报

(自然科学版),2020,41(6):32-39.

[5] 冯颖,李晓宁,屈国俊,等.中国水环境污染与经济增长关系研究[J].西北农林科技大学学报(社会科学版),2017,17(6):66-74.

[6] 李亚婷.浙江省经济增长与水环境污染的关系研究[J].湖北农业科学,2019,58(07):136-140.

[7] 谢丽芳,颜城敏,李该霞,等.江苏省产业结构的水环境污染响应[J].水土保持通报,2016,36(2):307-313.

[8] 王刚毅,刘杰.基于改进水生态足迹的水资源环境与经济发展协调性评价——以中原城市群为例[J].长江流域资源与环境,2019,28(1):80-90.

[9] SUN Lei. Driving mechanism of the coordinated development of regional economy - society - environment system based on grey incidence analysis model—A case study of Wanjiang Urban Belt [J]. Modern Economy, 2020, 11 (7): 1226 - 1244.

[10] 谈飞,史玉莹.江苏省水资源环境与经济发展耦合协调度测评[J].水利经济,2019,37(3):8-12+19+85.

[11] 谢强,韩君.甘肃省生态环境与经济发展耦合评价研究[J].兰州大学学报(社会科学版),2018,46(4):90-96.

[12] 王洁方,周云,田晨萌.多维视角下黄河流域水环境与社会经济协调性研究[J].人民黄河,2021,43(7):94-99+113.

[13] 金凤君,马丽,许堞.黄河流域产业发展对生态环境的胁迫诊断与优化路径识别[J].资源科学,2020,42(1):127-136.

[14] 郑欣,程艳妹,任彩凤,等.基于熵权TOPSIS模型的鄂尔多斯市资源环境承载力评价[J].生态科学,2020,39(2):95-103.

[15] 常玉苗.水资源环境与城市生态经济系统耦合模型及评价[J].水电能源科学,2018,36(2):55-58+27.

[16] 聂晓,张中旺.湖北省水资源环境与经济发展耦合关系时序特征研究[J].灌溉排水学报,2020,39(2):138-144.

[17] 刘艺,张郑贤,张锋贤,等.济南市水资源环境与经济发展耦合关联性测度及前景预测[J].长江科学院院报,2020,37(2):28-33+47.

[18] 邢霞,修长百,刘玉春.黄河流域水资源利用效率与经济发展的耦合协调关系研究[J].软科学,2020,34(8):44-50.

[19] 喻笑勇,张利平,陈心池,等.湖北省水资源与社会经济耦合协调发展分析[J].长江流域资源与环境,2018,27(4):809-817.

[20] 曹睿喆.新乡市水资源与社会经济发展的协调度分析[J].水利规划与设计,2018(7):27-29+95.

[21] 周迪,王雪芹.中国碳排放效率与产业结构升级的耦合度及耦合路径[J].自然资源学报,2019,34(11):2305-2316.

[22] 王永良,唐莲,张静,等.宁夏沿黄经济区水资源短缺与社会适应能力耦合关系分析[J].水资源与水工程学报,2018,29(6):245-249.

[23] 李静,马亚亚,王杰,等.固原市原州区生态环境与经济系统的耦合协调发展[J].水土保持通报,2020,40(1):229-235+282.