

【水资源】

陕西省水资源综合利用水平评价与动态演进预测

张炳林^{1,2,3}, 王秉琦¹, 甄俊杰^{1,2,3,4}, 王成军⁵, 王若轩^{1,2,3}

(1.陕西省地质调查院, 陕西 西安 710054; 2.陕西省矿产地质调查中心, 陕西 西安 710068;
3.中国自然资源学会 秦巴研究分会, 陕西 西安 710068; 4.西北大学 经济管理学院,
陕西 西安 710127; 5.西安建筑科技大学 管理学院, 陕西 西安 710055)

摘 要: 为了解陕西省水资源利用现状, 促进水资源有效利用和可持续发展, 从水资源承载力与水资源管理韧性弹性适配视角, 构造陕西省水资源综合利用水平评价模型, 采用纵横向拉开档次法对陕西省 2013—2020 年水资源综合利用水平进行测度, 并对未来一定时期内的演进趋势进行预测。结果表明: 陕西省水资源综合利用水平具有差异化明显、震荡式下降的特点, 总体上表现为先下降后提升的动态演化过程, 存在两极分化的趋势; 陕西省水资源综合利用水平整体呈现条件收敛特征, 相同水平的邻近地区会进一步强化低水平与中低水平地区的路径依赖; 随着邻近地区水资源综合利用水平的提升, 低水平地区实现跃迁的概率增大, 表现出显著的示范带动效应。

关键词: 水资源承载力; 水资源管理韧性; 系统适配; 动态演化; 趋势预测; 陕西省

中图分类号: TV213.9 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1000-1379.2022.12.013

引用格式: 张炳林, 王秉琦, 甄俊杰, 等. 陕西省水资源综合利用水平评价与动态演进预测[J]. 人民黄河, 2022, 44(12): 67-72.

Evaluation and Dynamic Evolution Prediction of Comprehensive Utilization Level of Water Resources in Shaanxi Province

ZHANG Binglin^{1,2,3}, WANG Bingqi¹, ZHEN Junjie^{1,2,3,4}, WANG Chengjun⁵, WANG Ruoxuan^{1,2,3}

(1. Shaanxi Institute of Geological Survey, Xi'an 710054, China; 2. Shaanxi Mineral Resources and Geological Survey, Xi'an 710068, China; 3. Qinba Research Branch of China Society of Natural Resources, Xi'an 710068, China;
4. School of Economics and Management, Northwest University, Xi'an 710127, China;
5. School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: In order to understand the current situation of water resources utilization in Shaanxi Province and promote the efficient use of water resources and sustainable development of water resources, a comprehensive utilization model of water resources in Shaanxi Province was built based on the adaptability of water resources carrying capacity and water resources management resilience and elasticity. The comprehensive utilization level of water resources in the province from 2013 to 2020 was measured, and the evolution trend in a certain period of time in the future was predicted. The results show that: the comprehensive utilization level of water resources in Shaanxi Province has the characteristics of obvious differences and oscillating decline, and generally shows a dynamic evolution process of first decline and then improvement, and there is a trend of polarization; the overall utilization level of water resources in Shaanxi Province presents conditions convergence characteristics, adjacent areas at the same level will further strengthen the path dependence of low-level and low-level areas; with the improvement of the comprehensive utilization of water resources in adjacent areas, the probability of transition in low-level areas increases, showing a significant demonstration and drive effect.

Key words: water resources carrying capacity; resilience of water resources management; system adaptation; dynamic evolution; trend forecast; Shaanxi Province

水资源是人民生活与社会生产的基础性自然资源,随着我国经济社会的快速发展,水资源短缺、水污染问题日益严峻,平衡好经济社会发展与水资源的可持续开发利用是当前亟待解决的问题。已有关于水资源综合利用水平评价的研究主要集中在两个方面:一是关于水资源综合利用水平的测度,国内外学者多采用综合评价模型与 DEA 模型进行分析,如周和平等^[1]采用综合评价和柯布道格拉斯模型对新疆水资源综合利用水平进行评价,为新疆水资源与经济社会均衡发展

提出了政策建议;Zhou 等^[2]在区分经济用水和社会用水两大用水部门的基础上,采用 DEA 模型对水资源综合利用水平进行评价。二是关于水资源综合利用与

收稿日期:2022-09-07

基金项目:陕西省公益性地质调查项目(202202)

作者简介:张炳林(1991—),男,山东济南人,工程师,博士,研究方向为自然资源资产管理与评价

通信作者:甄俊杰(1998—),男,安徽合肥人,硕士研究生,研究方向为自然资源管理与可持续发展

E-mail: zhenjunjianwu@163.com

经济社会发展之间的关系研究,如高志远等^[3]基于协同发展理论,对黄河流域水资源-经济发展-生态环境协同发展进行评价,并详细分析了三者间的演变关系;Haak 等^[4]构建了水资源与经济发展的动态指数,并考虑废水处理、水资源修复等可持续性因素,为深入了解城市水资源与经济协同发展提供了实践思路;Zamanzad 等^[5]以水资源为中心框架,通过构建水资源-社会-经济-环境综合可持续发展指数,对美洲 35 个国家进行考察,并基于单一和混合人工智能基因表达编程方法,对国家层面水资源与社会经济环境系统之间的联系进行评估。

陕西省水资源匮乏,严重制约经济社会的可持续发展。笔者基于水资源承载力-管理韧性弹性适配视角,采用纵横向拉开档次法,对陕西省 2013—2020 年水资源综合利用水平进行评价,并对未来发展趋势进行预测分析,以期为实现陕西省水资源可持续发展提供参考。

1 研究区概况

陕西省总面积为 20.56 万 km², 分属黄河、长江两大流域。水资源分布不均, 全年降水量主要集中于 7—10 月。陕北地区年降水量仅占全省年降水量的 20%, 属于半干旱地区; 关中地区与陕南地区分别属于半湿润地区和湿润地区。关中地区与陕北地区属黄河流域, 总面积占全省的 64.83%、年降水量为全省平均值的 53.97%, 水资源总量仅占全省的 29.46%; 陕南地区属长江流域, 面积、年降水量分别占全省的 35.17%、46.03%, 水资源总量占全省的 70.54%。陕西省主要地貌分布见图 1。

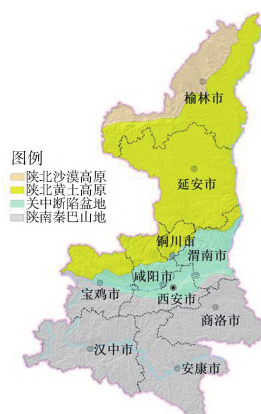


图 1 陕西省主要地貌分布

2 指标体系构建与数据来源

产权理论指出,水资源作为公共物品,由于产权没有清晰的边界,因此势必导致过度使用而枯竭^[6]。水资源承载力是指以可预见的技术、经济和社会发展水

平为依据,以社会可持续发展和水资源可持续利用为原则,水资源对地区社会经济发展的最大支撑能力。水资源可持续利用理论认为,水资源可以在地区人口、资源与环境的协同谋划下实现可持续利用^[7]。人作为生态系统中的重要影响主体,是水资源综合利用中的核心要素,建设具有韧性的水资源管理体系是水资源综合利用的重要前提。基于以上理论,从地区水资源承载力与水资源管理韧性弹性适配研究视角,考虑科学性、综合性和可操作性原则,构造“压力-承压-管理-韧性”的陕西省水资源综合利用水平评价指标体系(见表 1)。

表 1 陕西省水资源综合利用水平评价指标体系

目标层	子系统	要素层	指标层	指标属性	权重
水资源综合利用水平	水资源承载力	压力水平	地区生产总值	正向	0.021
			人均 GDP	正向	0.059
			城镇化率	正向	0.046
			第二产业占比	正向	0.055
			工业废水排放量	负向	0.050
	承压水平		地表水资源占比	正向	0.082
			地下水资源占比	正向	0.048
			产水模数	正向	0.037
			产水系数	正向	0.042
			生态环境用水量占比	正向	0.033
	水资源管理韧性	管理韧性	万元 GDP 用水量	负向	0.089
			水资源开发利用率	负向	0.092
			人均水资源量	正向	0.028
			单位面积农田灌溉用水量	负向	0.020
			人均耕地面积	正向	0.043
	韧性水平		废水治理设施处理能力	正向	0.047
			工业废水处理率	正向	0.033
			单位废水治理投资额	正向	0.047
			建成区绿化率	正向	0.088
			城市人均公共绿化面积	正向	0.040

本研究所用数据主要来源于中国经济数据库(<https://www.ceicdata.com>)、中经网数据库(<https://db.cei.cn>)、《陕西省统计年鉴》《陕西省水资源公报》。对于少部分缺失的数据值,采用线性插值法补齐。

3 研究方法

3.1 纵横向拉开档次法

目前关于自然资源评价主要有主观赋权^[8-9]和客观赋权^[10-12]两种方法,主观赋权法因容易受个人主观影响而应用较少,客观赋权法因各项指标在不同年份存在非一致性变化而难以适用于多主体历年跨期的面板数据动态评价。因此,本文采用纵横向拉开档次法对水资源综合利用水平进行评价,该方法完全基于数据原有的内在特征,不受主观因素影响^[13],同时能较好避免指标跨期带来的动态误差^[14],具体测算与评价步骤如下。

(1) 标准化处理。鉴于各指标的属性不同,采用极差变换法对指标进行无量纲化处理:

$$X_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{x_{ij}(t) - \min x_j(t)}{\max x_j(t) - \min x_j(t)} & (\text{正向指标}) \\ \frac{\max x_j(t) - x_{ij}(t)}{\max x_j(t) - \min x_j(t)} & (\text{负向指标}) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $X_{ij}(t)$ 为在 t 年第 i 个评价对象第 j 项指标 $X_{ij}(t)$ 无量纲化处理后的值, $X_{ij}(t) \in [0, 1]$; $\max x_j(t)$ 、 $\min x_j(t)$ 分别为在 t 年第 j 项指标的最大值、最小值。

(2) 确定指标权重。与传统客观赋权方法不同的是, 纵横向拉开档次法能够区别不同主体间的差异, 使得不同评价对象综合评价指数 $y_i(t)$ 间的总离差平方和

$$e^2 = \sum_{i=1}^Y \sum_{j=1}^n [y_i(t) - \bar{y}]^2 \text{ 最大, 由于数据经过标准化处}$$

理, 因此 $\bar{y} = 0$, $e^2 = \sum_{i=1}^Y \sum_{j=1}^n [y_i(t)]^2 = \mathbf{M}^T \mathbf{H} \mathbf{M}$ 。其中:

$\mathbf{M} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$, ω_j 为第 j 项指标的权重; $\mathbf{H} =$

$$\sum_{i=1}^Y \mathbf{H}_i, \text{ 是 } m \times m \text{ 的对称矩阵, } \mathbf{H}_i = \mathbf{X}_i^T \mathbf{X}_i, \mathbf{X}_i = \begin{bmatrix} X_{i1}(t) & \cdots & X_{im}(t) \\ \vdots & & \vdots \\ X_{ni}(t) & \cdots & X_{nm}(t) \end{bmatrix}。当 e^2 \text{ 取得最大值时, 限定 } \mathbf{M}^T \mathbf{M} = \mathbf{I},$$

矩阵 \mathbf{H} 的最大特征值对应的特征向量即为各指标权重。

(3) 计算综合评价指数。综合评价指数的计算公式为

$$y_i(t) = \sum_{j=1}^m \omega_j X_{ij}(t) \quad (2)$$

3.2 Tapio 弹性适配模型

弹性适配模型由 Tapio^[15] 于 2005 年提出, 可以很好捕捉不同系统在不同尺度下的弹性适配程度。与传统 Tapio 模型不同, 本文着重计算陕西省水资源承载力与水资源管理韧性两大子系统间的弹性适配程度, 以此评价陕西省水资源综合利用水平。构建的模型表达式为

$$\delta = \frac{\Delta WCC}{\Delta WMR} = \frac{(WCC_t - WCC_{t-1}) / WCC_{t-1}}{(WMR_t - WMR_{t-1}) / WMR_{t-1}} \quad (3)$$

式中: δ 为水资源承载力与水资源管理韧性间的适配指数; ΔWCC 、 ΔWMR 分别为地区水资源承载力与水资源管理韧性的变化率。

参考已有研究成果^[16-17], 将水资源承载力与水资源管理韧性脱钩情况分为 8 个区间, 见图 2。

3.3 Kernel 密度估计法

Kernel 密度估计法作为一种非参数方法, 对模型的依赖性不强且具备优良的统计性能, 在探究空间分

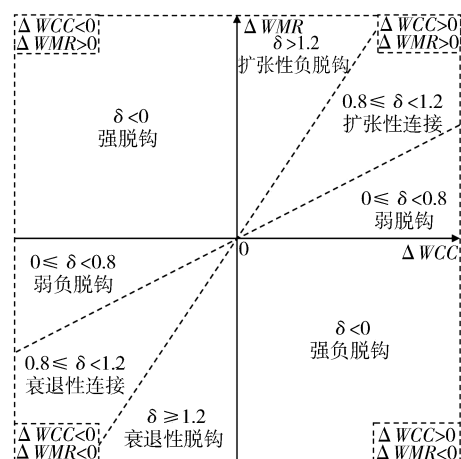


图2 水资源承载力与水资源管理韧性脱钩情况界定标准

布非均衡问题中得到广泛运用^[18]。Kernel 密度估计法测算模型表达式为

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left[\frac{X_i(t) - \bar{x}}{h}\right] \quad (4)$$

式中: $f(x)$ 为待估计指数的密度函数; h 为最优带宽, 常数; $K[\cdot]$ 为核密度估计函数; \bar{x} 为观测值的均值; $X_i(t)$ 为独立同分布的观测值。

3.4 Markov 链预测模型

Markov 链预测模型通过构建 Markov 概率矩阵, 对离散后的不同水资源综合利用水平等级进行动态模拟。首先将待预测指数离散为 4 种类型, 然后计算每种类型指数的概率, 使得 Markov 模拟过程近似逼近指数演变的整个过程^[19], 计算公式为

$$P_{sq} = \frac{\gamma_{sq}}{\gamma_q} \quad (5)$$

式中: P_{sq} 为 s 类型地区转移为 q 类型地区的概率; γ_{sq} 为 s 类型地区转移为 q 类型地区的数量; γ_q 为 q 类型地区的总数。

本文在传统 Markov 链预测模型的基础上加入空间滞后效应, 以弥补传统 Markov 链预测模型的不足。将待预测的相邻地区指数与空间权重矩阵的乘积作为空间滞后值, 采用临近空间矩阵作为权重矩阵 (地区间相邻时权重为 1, 否则权重为 0)。

4 弹性适配视角下陕西省水资源综合利用水平

采用纵横向拉开档次法, 计算 2013—2020 年陕西省水资源综合利用指数 (见表 2), 指数越大表示水资源综合利用水平越高。由表 2 可知, 陕西省各地级市水资源综合利用水平总体呈现差异化明显、震荡式下降的特点。从空间维度而言, 榆林市、西安市、宝鸡市和延安市水资源综合利用指数年均值均大于 0.5, 位于全省前列; 汉中市、咸阳市、铜川市、安康市年均值为

0.4~0.5;商洛市、渭南市年均值均低于0.4,属于水资源综合利用水平亟待提高的地区。从时间维度而言,除安康市、商洛市外,其他各地级市2013—2020年水

资源综合利用指数增长率均为负值,其中榆林市、铜川市下降幅度最大,分别为19.89%、17.59%。

表2 2013—2020年陕西省水资源综合利用指数计算情况

地级市	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	均值
西安	0.562	0.463	0.579	0.604	0.537	0.499	0.555	0.559	0.545
铜川	0.457	0.480	0.444	0.430	0.398	0.385	0.396	0.377	0.421
宝鸡	0.595	0.577	0.555	0.520	0.494	0.488	0.518	0.513	0.533
咸阳	0.498	0.472	0.453	0.438	0.431	0.440	0.403	0.423	0.445
渭南	0.298	0.367	0.327	0.340	0.305	0.280	0.280	0.270	0.308
延安	0.535	0.555	0.491	0.469	0.476	0.477	0.552	0.486	0.505
汉中	0.487	0.517	0.454	0.445	0.495	0.503	0.459	0.469	0.479
榆林	0.614	0.677	0.652	0.637	0.544	0.529	0.581	0.492	0.591
安康	0.386	0.398	0.438	0.445	0.437	0.414	0.412	0.409	0.417
商洛	0.366	0.389	0.376	0.354	0.404	0.379	0.351	0.423	0.380
均值	0.480	0.490	0.477	0.468	0.452	0.439	0.451	0.442	

利用式(3),采用弹性适配模型对陕西省水资源承载力与水资源管理韧性子系统弹性适配情况进行计算,结果见表3。陕西省水资源承载力与水资源管理韧性弹性适配状态主要分为3类:第一类为水资源承载力与水资源管理韧性均正增长的良好适配状态,包

括扩张性负脱钩与弱脱钩;第二类为水资源承载力与水资源管理韧性相对滞后发展的中等适配状态,包括强脱钩与强负脱钩;第三类为水资源承载力与水资源管理韧性同时退化的较差适配状态,包括弱负脱钩、衰退性连接与衰退性脱钩。

表3 陕西省水资源承载力与水资源管理韧性弹性适配情况

地级市	2013—2016年					2017—2020年				
	ΔWCC	ΔWMR	δ	脱钩情况	适配状态	ΔWCC	ΔWMR	δ	脱钩情况	适配状态
西安	0.035	0.123	0.285	弱脱钩	良好适配	0.069	0.012	5.750	扩张性负脱钩	良好适配
铜川	-0.045	-0.065	0.692	弱负脱钩	较差适配	0.018	-0.095	-0.189	强负脱钩	中等适配
宝鸡	0.015	-0.223	-0.067	强负脱钩	中等适配	0.063	0.022	2.864	扩张性负脱钩	良好适配
咸阳	-0.113	-0.128	0.883	衰退性连接	较差适配	0.155	-0.159	-0.975	强负脱钩	中等适配
渭南	0.207	0.101	2.050	扩张性负脱钩	良好适配	0.019	-0.183	-0.104	强负脱钩	中等适配
延安	0.120	-0.219	-0.548	强负脱钩	中等适配	0.192	-0.053	-3.623	强负脱钩	中等适配
汉中	0.136	-0.214	-0.636	强负脱钩	中等适配	0.167	-0.190	-0.879	强负脱钩	中等适配
榆林	0.197	-0.040	-4.925	强负脱钩	中等适配	-0.139	-0.060	2.317	衰退性脱钩	较差适配
安康	0.448	0.010	44.800	扩张性负脱钩	良好适配	-0.181	0.023	-7.870	强脱钩	中等适配
商洛	0.178	0.933	0.191	弱脱钩	良好适配	-0.202	0.186	-1.086	强脱钩	中等适配

由表3可知,除西安市水资源承载力与水资源管理韧性持续保持良好适配状态外,其他地级市均不稳定。其中:铜川市、咸阳市从较差适配状态转变为中等适配状态,宝鸡市由中等适配状态转为良好适配状态,表明地区水资源承载力与水资源管理韧性适配状态虽有所改善,但仍有进一步提升的空间;渭南市、安康市和商洛市由良好适配状态转变为中等适配状态,榆林市由中等适配状态转变为较差适配状态,表明水资源承载力与水资源管理韧性间的适配状态有所恶化;延

安市、汉中市的水资源承载力与水资源管理韧性间的适配状态均稳定保持在中等适配状态。

5 陕西省水资源综合利用水平动态演化及预测

5.1 陕西省水资源综合利用水平动态演化

为深入了解陕西省水资源利用的动态演化状况,绘制了2013—2020年陕西省水资源综合利用水平、水资源承载力与水资源管理韧性的三维Kernel密度分布图,分别见图3~图5。

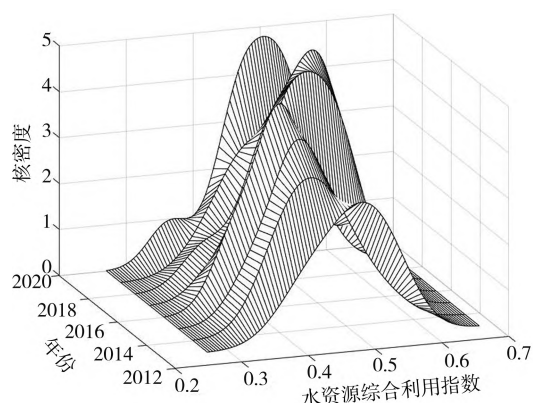


图3 陕西省水资源综合利用水平演化趋势

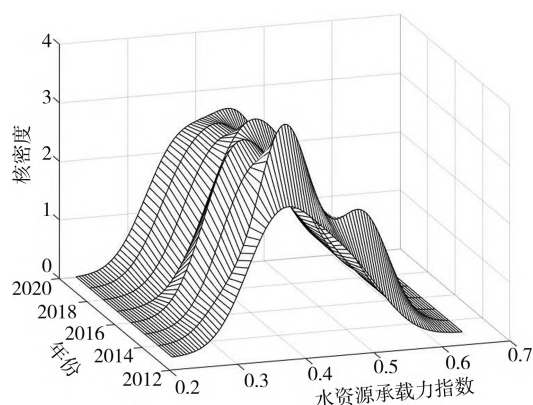


图4 陕西省水资源承载力演化趋势

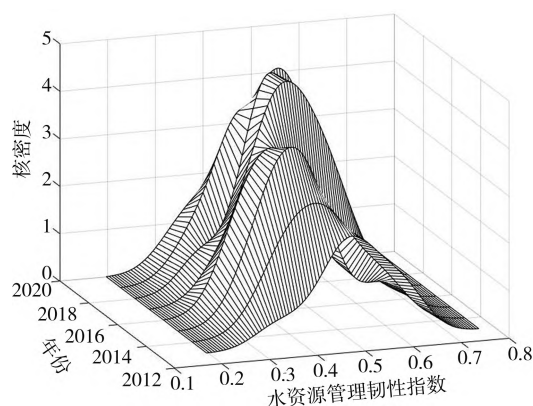


图5 陕西省水资源管理韧性演化趋势

由图3可知:Kernel密度函数中心呈现显著的移动特征,表明总体上陕西省水资源综合利用水平呈现先下降后上升的动态演化过程;2013—2020年Kernel密度函数的波峰高度不断提升,2020年的波峰分布最为陡峭、峰值最大,且历年Kernel密度函数波峰变窄,说明陕西省水资源综合利用水平的地区间差距逐渐缩小;研究期内Kernel密度函数并未出现明显的多峰现象,表明陕西省水资源综合利用水平并未出现两极分化现象。

由图4可知:2014年水资源承载力比2013年有显著提升,但2014年之后Kernel密度函数中心未出现明显移动现象,表明陕西省水资源承载力未发生明显变动;Kernel密度函数的波峰呈现先上升后震荡趋平的特征,表明研究期内陕西省各地区间水资源承载力

差距呈现先缩小后趋于稳定的动态演进过程;虽然2014年水资源承载力出现明显的双峰现象,但后期并未出现明显的两极分化现象。

由图5可知:Kernel密度函数中心不断向右移动,表明陕西省水资源管理韧性水平不断提高;Kernel密度函数的波峰高度呈现先上升后下降的特征,表明研究期内陕西省各地区间水资源管理韧性呈现先缩小后扩大的趋势特征;研究期内Kernel密度函数未出现明显的多峰现象,表明陕西省水资源管理韧性未出现显著的两极分化现象。

5.2 陕西省水资源综合利用水平趋势预测

依据Markov预测模型,对陕西省水资源综合利用水平发展趋势进行预测。首先将待预测变量进行离散化处理,采用四分位数法将陕西省水资源综合利用水平划分为Ⅰ(低水平)、Ⅱ(中低水平)、Ⅲ(中高水平)、Ⅳ(高水平)4种类型,考虑空间滞后因素的影响,构建空间Markov预测模型,并与传统Markov概率矩阵进行对比分析,结果见表4。

表4 陕西省水资源综合利用水平预测Markov概率矩阵

邻近地区类型	类型	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
无空间滞后	Ⅰ	0.905	0.095	0.000	0.000
	Ⅱ	0.143	0.643	0.143	0.071
	Ⅲ	0.000	0.143	0.571	0.286
	Ⅳ	0.000	0.048	0.190	0.762
Ⅰ	Ⅰ	1.000	0.000	0.000	0.000
	Ⅱ	0.333	0.000	0.333	0.333
	Ⅲ	0.000	0.000	0.500	0.500
	Ⅳ	0.000	0.200	0.200	0.600
Ⅱ	Ⅰ	0.833	0.167	0.000	0.000
	Ⅱ	0.000	1.000	0.000	0.000
	Ⅲ	0.000	0.250	0.500	0.250
	Ⅳ	0.000	0.000	0.000	1.000
Ⅲ	Ⅰ	0.750	0.250	0.000	0.000
	Ⅱ	0.200	0.800	0.000	0.000
	Ⅲ	0.000	0.500	0.500	0.000
	Ⅳ	0.000	0.000	0.000	1.000
Ⅳ	Ⅰ	0.620	0.380	0.000	0.000
	Ⅱ	0.000	0.750	0.250	0.000
	Ⅲ	0.000	0.000	0.667	0.333
	Ⅳ	0.000	0.000	0.273	0.727

注:深色底纹的数字为维持现状的概率

不考虑空间滞后因素影响的陕西省水资源综合利用水平发展趋势:①水资源综合利用水平整体呈现条件收敛特征,预测矩阵对角线元素概率分别为0.905、0.643、0.571、0.762,表明水资源综合利用水平保持原状态的概率至少为57.1%,且低水平和高水平维持现状的概率远高于中低水平与中高水平。②水资源综合利用水平提升概率较大,但存在降级风险。预测矩阵表明,低水平、中高水平地区依旧有9.5%和28.6%的概率实现跃迁,具有较大提升概率;中低水平地区提升和下降的概率均为14.3%,有7.1%的概率实现跨越式

发展;高水平地区退化的概率较大(19.0%),因此需要特别警惕异质性水资源发展水平的退化风险。

考虑空间滞后因素影响的陕西省水资源综合利用水平发展趋势:①相同水平的临近地区会进一步强化低水平与中低水平地区的路径依赖。随着邻近地区水资源综合利用水平的影响,各地区水资源综合利用水平维持现状的概率总体显著增大;对于低水平和中低水平地区而言,当邻近地区水资源综合利用处于同等水平时,本地区不会改变现有状态。②伴随着邻近地区水资源综合利用水平的提升,低水平地区实现跃迁的概率显著增大,表现出显著的示范带动效应;当邻近地区水资源综合利用水平高于低水平地区时,类型I变为类型II的概率由16.7%提升至25.0%,最终可以提升到38.0%,可见发挥临近地区的示范带动效应是提升陕西省水资源综合利用水平的重要途径。

6 结论与建议

6.1 结论

(1)2013—2020年,陕西省水资源综合利用水平表现出差异化明显、震荡式下降的特点,总体上呈现先下降后上升的动态演化过程,且存在两极分化的趋势。

(2)陕西省各地区水资源综合利用水平下降的主要原因是地区水资源承载力与水资源管理韧性间不匹配,地区间水资源承载力的异质性状况是水资源综合利用水平出现差异化的主要原因。

(3)陕西省水资源综合利用水平整体呈现条件收敛特征,相同水平下的临近地区会进一步强化低水平与中低水平地区的路径依赖;随着邻近地区水资源综合利用水平的提升,低水平地区实现跃迁的概率增大,表现出显著的示范带动效应。

6.2 建议

(1)坚持管住用水、科学调水的原则,在保证用水合理的前提下构建现代化水网。通过陕西省水量的统一调度,解决各地区水资源超载、过载的不均衡问题。

(2)做好惜水节水宣传工作。强化居民保护水源、节水惜水意识,提高水资源综合利用水平,实现水资源的可持续发展。

(3)加大污水处理投资力度与生态修复工程建设力度,实现水资源的循环利用和生态系统可持续发展。在开源节流的同时,提高地区水资源承载力的韧性。

参考文献:

- [1] 周和平,翟超,孙志锋,等.新疆水资源综合利用效果及发展变化分析[J].干旱区资源与环境,2016,30(1):95-100.
- [2] ZHOU X, LUO R, YAO L, et al. Assessing Integrated Water Use and Wastewater Treatment Systems in China: A Mixed

- Network Structure Two-Stage SBM DEA Model[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 185: 533-546.
- [3] 高志远,程柳,张小红.黄河流域经济发展-生态环境-水资源耦合协调水平评价[J].统计与决策,2022,38(9):123-127.
- [4] HAAK L, PAGILLA K. The Water-Economy Nexus: A Composite Index Approach to Evaluate Urban Water Vulnerability[J]. Water Resources Management, 2020, 34(1): 409-423.
- [5] ZAMANZAD S, SOBHANI R, ETAEI S, et al. Development of Hydro-Social-Economic-Environmental Sustainability Index (HSEESI) in Integrated Water Resources Management[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2021, 193(8): 1-29.
- [6] 郭晖,范景铭,陈向东.井灌区地下水水权交易机制与保障措施研究[J].人民黄河,2019,41(6):53-57.
- [7] 李友光,袁榆梁,李卓成,等.基于能值水生态足迹的河南省水资源可持续利用评价[J].人民黄河,2022,44(6):100-104,162.
- [8] 陈丽,周宏.基于模糊综合评价和主成分分析法的岩溶流域水资源承载力评价[J].安全与环境工程,2021,28(6):159-173.
- [9] 王晓艳,章四龙,刘磊.基于AHP-熵权法的水环境承载力模糊综合评价[J].环境科学与技术,2021,44(9):206-212.
- [10] 顾文权,胡雅洁,包秀凤,等.典型南方小流域水资源承载力能力分析[J].武汉大学学报(工学版),2021,54(5):381-386.
- [11] 何楠,袁胜楠,王军.基于DEA-Malmquist模型的黄河流域水资源利用效率评价[J].人民黄河,2021,43(5):7-11.
- [12] 刘建厅,刘芮妍,续衍雪.河南省各地级市水资源承载力评价研究[J].人民黄河,2022,44(3):53-58.
- [13] 卢小兰.中国省域资源环境承载力评价及空间统计分析[J].统计与决策,2014(7):116-120.
- [14] 罗娅,熊康宁,李永奎,等.石漠化治理区土地利用变化安全性评价:以花江、红枫湖、鸭池石漠化治理区为例[J].自然资源学报,2019,34(3):600-612.
- [15] TAPIO P. Towards a Theory of Decoupling: Degrees of Decoupling in the EU and the Case of Road Traffic in Finland Between 1970 and 2001[J]. Transport Policy, 2005, 12(2):137-151.
- [16] 左其亭,张志卓,马军霞.黄河流域水资源利用水平与经济社会发展的关系[J].中国人口·资源与环境,2021,31(10):29-38.
- [17] ZHAO Y H, SU Q, LI B K, et al. Have Those Countries Declaring "Zero Carbon" or "Carbon Neutral" Climate Goals Achieved Carbon Emissions-Economic Growth Decoupling? [J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 363: 1-19.
- [18] 师博,何璐,张文明.黄河流域城市经济高质量发展的动态演进及趋势预测[J].经济问题,2021(1):1-8.
- [19] 张赫,黄雅哲,王睿,等.中国县域碳排放脱钩关系及其时空特征演变[J].资源科学,2022,44(4):744-755.

【责任编辑 张华兴】