



· 黄河流域人地系统协调与可持续发展 ·

黄河流域资源-人口-产业高质量发展的耦合协调及影响因素分析

董 格,张中华,王 帅,雷振东

(西安建筑科技大学 建筑学院,陕西 西安 710055)

摘要 黄河流域生态保护和高质量发展已成为重大国家战略,资源-人口-产业系统的耦合协调高质量发展是实现这一战略目标的重要途径。该文分析了资源-人口-产业高质量发展的内涵,并在此基础上构建了评价指标体系。利用熵权法、耦合协调度模型、空间自相关模型、决策实验室法和解释结构模型法探讨了2015—2021年黄河流域沿线55个地级市资源、人口和产业高质量发展的综合水平、耦合协调时空演变历程及其根本影响因素。研究表明:①黄河流域资源-人口-产业各系统综合发展水平均呈现平稳上升态势;②三者的耦合协调程度普遍较低,但整体呈良性发展趋势,同时在空间上呈现“东高西低”的特征;③黄河流域资源-人口-产业系统的耦合协调度展现出较强的空间正相关性,其中“高-高”集聚区主要集中于流域的下游地区,“低-低”集聚区主要位于流域的上游地区;④在评价指标中,教育支出占财政支出比重,环境规制强度,第二、三产业占GDP比重和科学技术支出占财政支出比重为影响黄河流域资源-人口-产业高质量发展的根本指标因素。基于资源-人口-产业系统高质量发展的耦合关系和识别的关键影响因素,提出相应的策略建议,以期为黄河流域高质量发展提供科学的理论支持和决策基础。

关键词 高质量发展;资源-人口-产业;耦合协调;黄河流域

中图分类号:TU982 **DOI**:10.16152/j.cnki.xdxbzr.2024-03-009

Coupling coordination and influencing factors analysis of high-quality development of "resource-population-industry" in the Yellow River Basin

DONG Ge, ZHANG Zhonghua, WANG Shuai, LEI Zhendong

(College of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract Ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin has become a major national strategy. Coupling resources, population and industries systems to coordinate high-quality development is an important way to achieve this strategic goal. The paper analyzes the connotation of high-quality development of "resource-population-industry", and builds an evaluation index system on this basis. The entropy weight method, coupling coordination model, spatial autocorrelation model, decision laboratory method and interpretive structural model method were used to explore the comprehensive level, quality development of re-

收稿日期:2023-11-30

基金项目:“十四五”国家重点研发计划重点专项(2022YFC3802801)

第一作者:董格,女,博士研究生,从事城市与区域规划研究,donggeslby@163.com。

通信作者:张中华,男,教授,博士生导师,从事城市与区域规划等领域研究,zzhdeai@163.com。

sources, population and industry in 55 prefecture-level cities along the Yellow River Basin from 2015 to 2021. Coupling coordinates the spatiotemporal evolution process and its fundamental influencing factors. Research shows: ① The comprehensive development level of resources, population and industries systems in the Yellow River Basin has shown a steady upward trend; ② The degree of coupling and coordination among the three is generally low, but the overall development trend is benign, at the same time, the spatial characteristics of "high in the east and low in the west" are present; ③ The coupling coordination degree of "resource-population-industry" system in the Yellow River Basin shows a strong positive spatial correlation, "high-high" agglomeration areas are mainly concentrated in the downstream areas of the basin, and "low-low" agglomeration areas are mainly located in the upstream areas of the river basin; ④ Among the evaluation indicators, the proportion of education expenditures in fiscal expenditures, the intensity of environmental regulation, the proportion of secondary and tertiary industries in GDP and the proportion of science and technology expenditures in fiscal expenditures are fundamental indicators that affect the high-quality development of "resource-population-industry" in the Yellow River Basin factor. Based on the coupling relationship of the high-quality development of the "resource-population-industry" system and the identified key influencing factors, corresponding strategic suggestions are put forward, in order to provide scientific theoretical support and decision-making basis for the high-quality development of the Yellow River Basin.

Keywords high-quality development; resource-population-industry; coupling coordination; Yellow River Basin

黄河流域长期以来被视为中国生态安全与经济社会发展的关键和难点地区。2019年9月,我国提出将黄河流域生态保护和高质量发展上升为国家重大战略。黄河流域的高质量发展本质上是流域内各子系统按照一定的规则耦合协调发展,从而达到一种最佳平衡状态。资源、人口、产业系统作为城市的基本系统,贯穿城市发展的始终,且相互耦合作用。三者的高质量发展和耦合协调程度直接关系到黄河流域的资源可持续、经济发展和社会福祉等方面。

目前,学者对黄河流域高质量发展的研究聚焦于内涵阐释、发展水平测度和影响机制探析等方面。不同专家学者对黄河流域高质量发展的内涵存在不同认识。基本观点主要包括以下3个方面:①认为黄河流域高质量发展更加注重质量和效益^[1];②强调社会、经济和生态等要素的系统性和整体性发展^[2];③是以满足人民日益增长美好生活需求为目标,追求高效率、公平和绿色可持续发展^[3-4]。学者们对于黄河流域高质量发展水平测度的研究可以分为两大类。一类致力于构建综合的高质量发展指标体系。这类研究往往基于新发展理念^[5-6]、区域“人口资源环境发展”协调理论^[7-8]、“驱动力-压力-状态-影响-响应”模型^[9]等多种理论框架,通过多维度、多指标的方式全面评估黄河流域的高质量发展程度。另一类

方法侧重对黄河流域多系统的耦合协调发展程度测度,对黄河流域社会-水文-生态系统^[10]、经济-人口-资源-环境系统^[11]、生产-生活-生态系统^[12]等的耦合协调演变特征进行分析,旨在评估不同子系统之间的协调性和互动关系,以了解高质量发展的整体状态。此外,已有研究还运用时空地理加权回归模型^[13]、面板回归分析模型^[14]、Tobit回归模型^[15]、地理探测器模型^[16]等方法探析了黄河流域沿线城市绿色发展效率、产业结构优化和经济高质量发展等的影响因素和机制。可见,黄河流域高质量发展的相关研究已经取得了一定的成果。然而,以往研究在内容上较少从资源-人口-产业3个系统出发,对其流域的发展特征和影响机理进行解析较少。同时,研究尺度上多以省域为基本单元进行,从市域层面进行更细致分析的研究还有待丰富。

资源-人口-产业这一复杂的系统涵盖了资源的保护与应用、人口的数量与结构以及产业的类型与发展等多方面内涵。早期学者通常关注资源-人口-产业两两系统间相互关系的研究。在人口与资源系统的相互关系研究方面,主要侧重人口结构与资源环境耦合关系^[17]、人口密度对生态环境的影响^[18]和人口规模与资源承载力关系^[19]等维度的研究;在人口与产业方面,围绕人口流动性与经济发展情况^[20]、人口分布与经济空间分

异^[21]等维度来展开探讨;在产业与资源方面,聚焦于资源环境承载力约束下产业空间布局^[22]、产业结构调整^[23]等维度的研究。近年来,学术界开始意识到资源、人口和产业三者之间的关系及其综合性研究对解决城市这一复杂系统高质量发展问题的重要性。相关学者在研究中对地区资源-人口-产业协同发展的时空格局演变^[24]、协调互动关系^[25]和发展模型构建^[26]等方面进行了分析。就现有研究来看,在阐述三者之间的相互关系时,多集中在系统层面,而对系统内部各指标在推动高质量发展中所发挥贡献的探讨相对不足,使得对研究结果的解释相对表面和简化,从而制约了对资源-人口-产业系统运作方式的全面理解。为了更加有效地推动城市系统的耦合协调发展,亟需在现有研究基础上深化对系统内部指标相互作用机制的分析。

因此,本文在已有研究成果的基础上,构建以“内涵阐释-特征分析-要素识别”为骨架的黄河流域资源-人口-产业高质量发展研究框架体系,从资源-人口-产业高质量发展的内涵和要求出发,构建评价指标体系。以市域为单元,对黄河流域沿线城市的高质量发展水平进行测度,同时分析其资源-人口-产业 3 个系统的耦合协调关系,并结合决策实验室法和解释结构模型探析 3 大系统

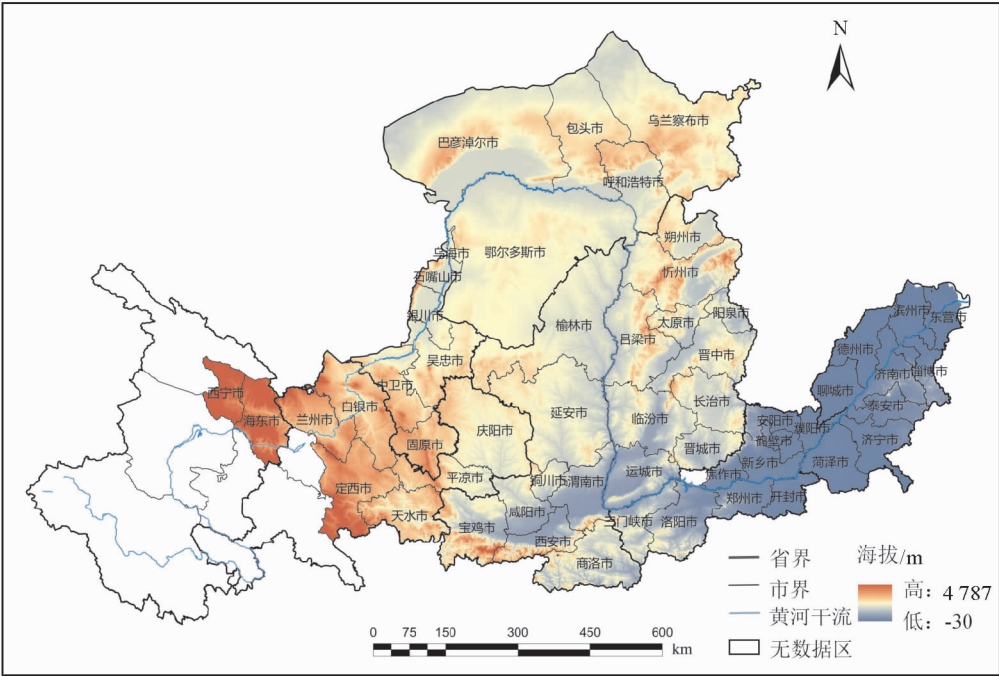
内部各因素的复合关系及其对黄河流域高质量发展的贡献程度。最后,基于分析结果,从资源-人口-产业各子系统高质量发展层面以及资源-人口-产业耦合协调发展层面提出对策和建议,为推动黄河流域高质量发展提供借鉴与参考。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究对象

黄河流域地理位置独特,横跨我国东中西部,贯穿青藏高原、黄土高原、华北平原和渤海,是我国重要的生态安全屏障,也是人口活动和经济发展的关键地区。然而,当前黄河流域社会经济发展对资源环境具有较高的依存度,因而面临着产业倚能倚重与生态环境保护相冲突、人口与水资源分布不均衡、设施滞后制约产业发展、产业低质低效导致民生发展不足等诸多问题,使得黄河流域成为了资源-人口-产业系统矛盾突出的典型区域。

本文以黄河水利委员会划定的自然流域范围为基础,参考相关学者的研究^[27],以 2023 年市级行政区划为单元,考虑基础数据的完整性及其获取的可行性,最终确定研究范围为黄河流域的 55 个地级市(见图 1)。



注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2023)2726 号的标准地图制作,底图边界无修改。

图 1 黄河流域研究范围
Fig. 1 Research scope of the Yellow River Basin

1.2 指标体系构建

1.2.1 资源-人口-产业高质量发展内涵阐释

资源-人口-产业系统在黄河流域高质量发展中扮演着至关重要的角色,其高质量发展水平和协调发展趋势直接塑造和决定着整个黄河流域的发展格局。资源-人口-产业高质量发展,是量与质相协调下的演进发展,是资源-人口-产业系统

相协调下的统筹发展。实现区域资源-人口-产业高质量发展,需要同时解决两大关键问题。一是须把握区域客观条件,促进资源、人口和产业各个系统量与质的高质量发展。二是应克服突出短板、促进要素流动,推进资源-人口-产业的耦合协调发展(见图2)。

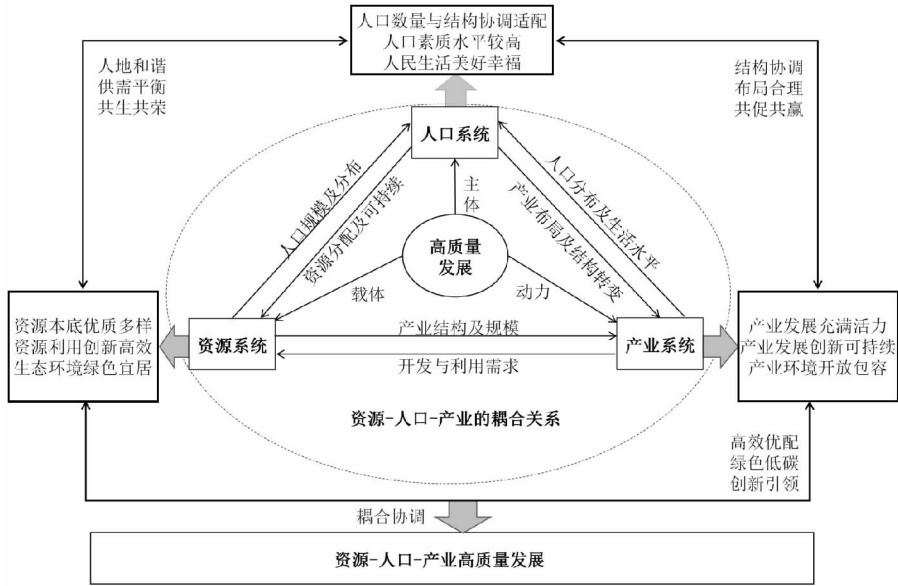


图2 资源-人口-产业高质量发展模型

Fig. 2 High-quality development model of "resource-population-industry"

资源、人口和产业系统在结构、功能和发展机制上存在差异,因此其高质量发展内涵与路径各有侧重。其中,资源的高质量发展应以新发展理念和可持续发展理念为重要指引,围绕生态文明建设的各项要求,推动实现区域资源本底优质多样、资源利用创新高效和生态环境绿色宜居。在人口高质量发展方面,强调人口发展的全面性、可持续性以及社会发展的公平性与包容性,因此需要促进地区人口数量与结构的协调适配,不断提高人口素质,促进人民生活美好幸福。产业系统的高质量发展,涵盖了对产业的结构、活力、可持续性等多维度的衡量,其根本在于推进产业发展的活力提升、产业发展的创新可持续性以及产业环境的开放包容性。

资源-人口-产业的耦合协调发展,指子系统间相互协调且可持续的一种发展模式。对资源-人口-产业复杂系统的内部关系进行分析可知,资源是系统存在的物质能量基础,是人类赖以生存和发展的物质保障,也是产业发展的必要条件;人

口是系统的主体和核心,人类活动影响资源与生态的可持续,并在一定程度上决定了地区产业布局 and 产业结构;产业是系统发展的核心动力,其直接影响着资源的开发与利用需求,也决定了人口的分布和生活质量。三者相互制约、相互促进。基于这三者的内在关系,提出资源-人口-产业的耦合协调发展需促进人口与资源系统实现人地和谐、供需平衡和共生共荣;人口与产业系统实现结构协调、布局合理和共促共赢;资源和产业系统实现高效优配、绿色低碳和创新引领。

1.2.2 资源-人口-产业高质量发展评价指标体系构建

为全面反映黄河流域地区资源-人口-产业高质量发展特征,本研究在理解和把握资源-人口-产业高质量发展基本内涵的基础上,坚持数据准确性、合理性与可收集性等原则。首先,利用知网(CNKI)数据库对近年来关于资源、人口和产业高质量发展的评价指标进行频度统计,选取使用频率较高的指标。其次,参考相关研究,对指标进行

分解与归纳。从人口质量与结构、人民生活水平两个方面对人口系统高质量发展予以内涵扩充和特征综合^[28];从资源综合质效、生态环境影响和资源环境治理 3 个方面对资源系统予以水平衡量和特征把握^[11];从产业活力、产业创新和开放合作 3 个维度对产业系统予以指标分解和特征细化^[25]。最后对所选指标进行专家反馈,最终形成包含 3 个准则层、8 个要素层、20 个指标层的资源

-人口-产业高质量发展评价指标体系(见表 1)。
需要指出的是,高质量发展评价系统中部分指标不能直接获取,对其处理过程及方法进行以下补充说明。其中,单位 GDP 能耗为各地级市综合能源消费量和单位国内生产总值的比值;环境规制强度为各级政府工作报告中与“环境保护”相关词汇出现频数和工作报告总词数的比值^[29]。

表 1 资源-人口-产业高质量发展评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system for high-quality development of "resource-population-industry"							
目标层	准则层	要素层	指标层	单位	方向	编号	
资源-人口-产业高质量发展评价指标体系	人口系统	人口质量与结构	常住人口城镇化率	%	正向	A11	
			城乡人均可支配收入比	无量纲	负向	A12	
		人民生活水平	建成区绿地覆盖率	%	正向	A21	
			人均地区生产总值	万元	正向	A22	
			教育支出占财政支出比重	%	正向	A23	
	资源系统	资源综合质效	水资源总量	10 ⁴ m ³	正向	B11	
			单位 GDP 能耗	万吨标准煤/万元	负向	B12	
			单位建设用地 GDP	万元/km ²	正向	B13	
		生态环境影响	PM _{2.5} 年平均浓度	μg/m ³	负向	B21	
			万元工业增加值工业二氧化硫排放量	t/万元	负向	B22	
		资源环境治理	环境规制强度	%	正向	B31	
			生活垃圾无害化处理率	%	正向	B32	
			污水处理厂集中处理率	%	正向	B33	
		产业系统	产业活力	地区生产总值增长率	%	正向	C11
	规模以上工业企业数			个	正向	C12	
			第二、三产占 GDP 比重	%	正向	C13	
			产业创新	科学技术支出占财政支出比重	%	正向	C21
				发明专利授权量	个	正向	C22
	开放合作		外商投资企业数	个	正向	C31	
			进出口总额占 GDP 比重	%	正向	C32	

1.3 研究方法

1.3.1 熵权法

熵权法是一种客观赋权法,其根据所选指标自身的统计性质确定各自权重,通常指标的信息熵值越小,离散程度越大,所包含的信息越多,赋予的权重越大。这种方式能够有效避免主观赋权的随意性。因此本文采用熵权法对人口、资源和产业高质量发展水平进行测度,具体计算步骤参

考文献[30]。

1.3.2 耦合协调度模型

耦合程度反映多个系统之间相互依赖、相互制约的程度,而协调度则衡量多个系统耦合关系之间的良性程度,从而反映协调的质量。本文综合考虑了这两个方面,引入耦合协调度模型,用于评估黄河流域资源-人口-产业 3 个子系统高质量发展水平的耦合协调状况,具体公式如下:

C = \left\{ \frac{f(x) \times g(y) \times h(z)}{\left[\frac{f(x) + g(y) + h(z)}{3} \right]^3} \right\}^{\frac{1}{3}} \tag{1}

T = \alpha f(x) + \beta g(y) + \delta h(z) \tag{2}

D = \sqrt{C \times T} \tag{3}

式中： $f(x)$ 、 $g(y)$ 和 $h(z)$ 分别为资源、人口、产业的综合水平指数； C 为3 系统的耦合度； T 是代表3

个系统的综合协调指数，其中 α 、 β 、 δ 表示待定权重，这里分别取 $1/3$ 。 D 为耦合协调度， $D \in (0, 1)$ ，其值越大，则表明资源、人口和产业系统间的良性互动程度越高，且表现出向有序方向发展。本文参照廖重斌的研究方法^[31]，将耦合协调度的值按照等距的方式划分出 10 个等级（见表 2）。

表 2 耦合协调度评价等级划分
Tab. 2 Classification of coupling coordination degree evaluation levels

耦合协调度	耦合协调阶段	耦合协调度	耦合协调阶段
$0 < D \leq 0.1$	极度失调	$0.5 < D \leq 0.6$	勉强协调
$0.1 < D \leq 0.2$	严重失调	$0.6 < D \leq 0.7$	初级协调
$0.2 < D \leq 0.3$	中度失调	$0.7 < D \leq 0.8$	中级协调
$0.3 < D \leq 0.4$	轻度失调	$0.8 < D \leq 0.9$	良好协调
$0.4 < D \leq 0.5$	濒临失调	$0.9 < D \leq 1.0$	优质协调

1.3.3 空间自相关模型

空间自相关模型是一种用于分析地理空间数据中存在的空间依赖关系的统计模型，可分为全局空间自相关和局部空间自相关两类。在全局空间自相关分析中，全局莫兰指数 (Global Moran's I) 被广泛运用，其主要目的在于描述整个研究区域内城市间关联性，反映整个区域的聚集或分散趋势。计算公式如下：

I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{4}

w_{ij} = \begin{cases} 0, i \text{ 和地区 } j \text{ 不相邻} \\ 1, i \text{ 和地区 } j \text{ 相邻} \end{cases} \tag{5}

式中： I 为莫兰指数； n 为研究区内空间单元数目； x_i 为地区 i 的变量值； x_j 为地区 j 的变量值； w_{ij} 为空间权重矩阵； $\bar{x}$ 为研究区内各地区的平均值。一般而言，莫兰指数在 $-1 \sim 1$ 之间变动，即当 $-1 \leq I < 0$ 时，空间负相关；当 $I = 0$ 时，不存在空间自相关；当 $0 \leq I < 1$ 时，空间正相关。

为了深入了解特定城市与其周边城市之间的关联性，揭示更为详细的局部信息，进一步利用局部莫兰指数来测度衡量研究区内各城市耦合协调水平的关联性，公式为

I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \tag{6}

式中： S 为标准差，其他变量含义与式(4)中一致。

1.3.4 决策实验法-解释结构模型法

决策实验法 (DEMATEL) 和解释结构模型法

(ISM) 是两种广泛用于系统分析的研究方法。DEMATEL 是一种定性和定量相结合的系统分析方法，通过专家打分、构建因果关系图、应用图论和数学模型，揭示系统内不同因素间的因果关系及其对系统的贡献度^[32]。该方法着眼于追踪因素之间的直接作用，为系统关键因素的识别提供了科学的方法。ISM 是一种系统性的结构分析方法，其特点在于提供详细的因素层次结构，强调因素间的分层关系和相互作用，有助于深入理解系统的结构和运行机制^[33]。本文综合运用 DEMATEL 和 ISM 两种方法（见图 3）。首先，通过 DEMATEL 方法计算各影响因素的重要度，并绘制黄河流域资源-人口-产业高质量发展影响因素的原因度和中心度属性分布图。随后，构建 ISM 模型，揭示各因素间的影响关系，形成多级递阶有向图。这两种方法的综合应用能够较为全面准确地识别与分析黄河流域资源-人口-产业高质量发展的影响因素，为深入理解系统内在机制提供了重要的研究手段。具体计算步骤参考相关文献^[34]。

1.4 数据来源

研究所用数据主要包括以下 3 方面。①各类统计数据来自 2015—2022 年各省市统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报、水资源公报和政府工作报告，部分年份缺失数据采用线性插补进行插补。② PM_{2.5} 浓度年均值，以大气成分分析组 (atmospheric composition analysis group) 发布的全球地面 PM_{2.5} 浓度年均值栅格数据为原始数据，

以研究范围的矢量界线为掩膜,运用 ArcGIS 10.4 软件对栅格数据进行提取。黄河流域的空间矢量数据中,海拔高度(DEM)空间分布原始数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心

(<https://www.resdc.cn>);黄河流域干流的空间分布原始数据来源于国家冰川冻土沙漠科学数据中心(<http://www.ncdc.ac.cn>)。

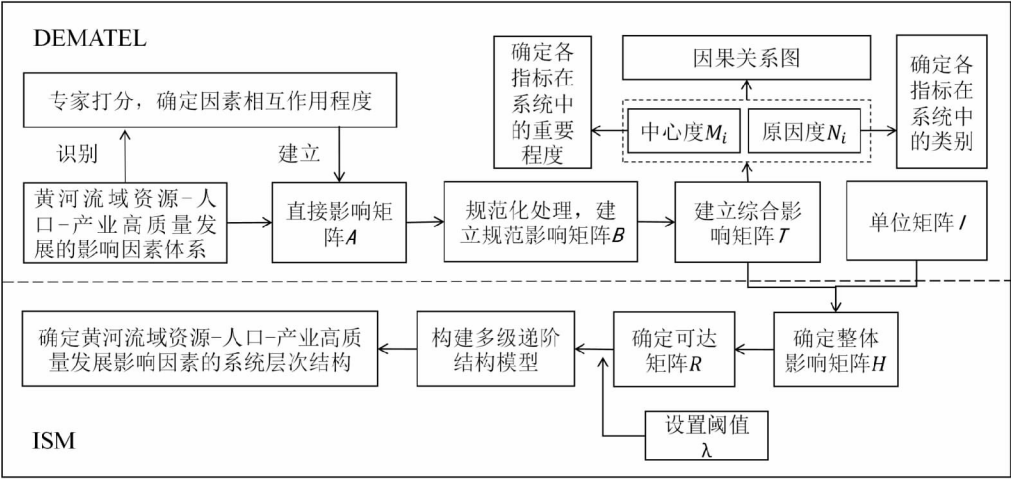


图 3 DEMATEL-ISM 模型流程图
Fig. 3 DEMATEL-ISM model flow chart

2 资源-人口-产业的耦合协调关系分析

2.1 综合评价指数分析

对 2015—2021 年黄河流域资源、人口和产业综合水平指数进行分析(见图 4),发现在流域层面,资源、人口和产业的综合水平指数均呈现平稳增加态势。然而,在不同年份各系统的综合水平指数相差并不显著。这种现象的主要原因在于黄河流域内各城市在资源环境和经济产业发展方面存在较大差异,同时流域内存在较多生活水平偏低的地区。在考察期内,多数地区的系统指标值变动较为有限,且黄河流域上游地区和部分资源型城市的其地区生产总值甚至出现负增长,从而使得系统综合水平指数(平均值)在考察期内保持相对稳定。同时,由于资源保护和产业发展的演变具有长期性与复杂性,因此在考察期内演进趋势不甚明显。

通过对 2015 年和 2021 年黄河流域 55 个地级市 3 大系统综合发展评价价值的空间分布进行深入分析(见图 5),可以得知在人口系统方面,“东—中—西”阶梯状递减特征明显。排名靠前的城市有鄂尔多斯市、乌海市和郑州市,这些城市的人均 GDP 值和人口城镇化率通常较高,反映了

其相对较好的社会经济发展水平。资源系统排名较高的城市有宝鸡市、巴彦淖尔市和商洛市,这些城市资源赋存较好,环境规制强度较高。例如宝鸡市水资源总量在流域内排名领先,巴彦淖尔市对乌梁素海全流域保护治理工作高度关注。黄河流域各城市的产业综合发展指数普遍较低,且城市间差距较大。其中排名较高的城市为西安市、郑州市和济南市。这些城市经济结构较为多元,主导产业以服务业、商贸业等附加值较高的领域为主,因此展现出相对合理的产业结构、较强的产业开放性和较高的生产总值。

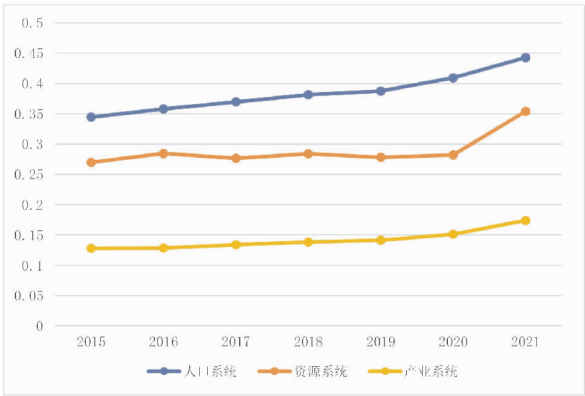
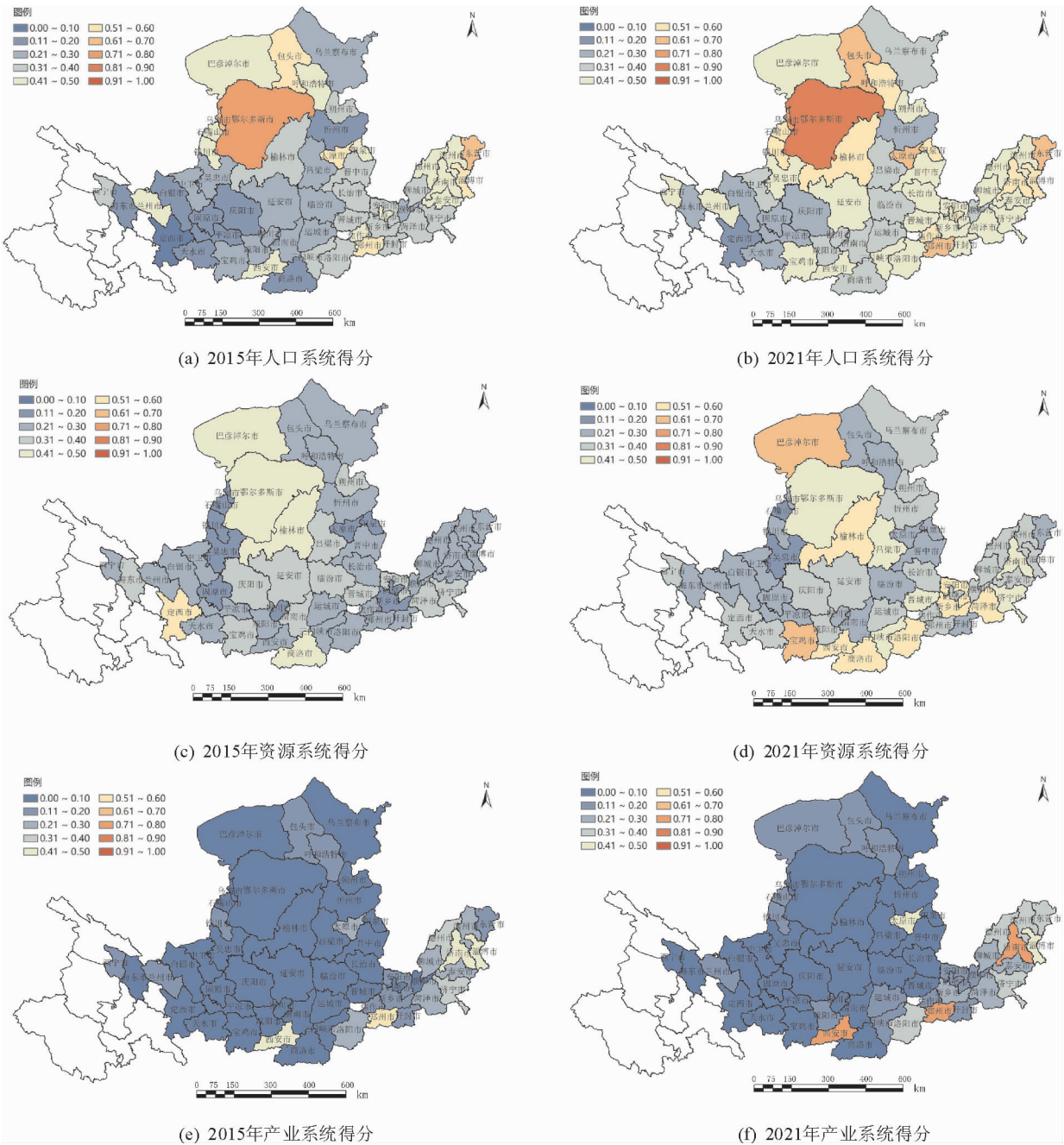


图 4 2015—2021 年黄河流域资源、人口、产业综合水平指数
Fig. 4 Comprehensive level index of resources, population and industries in the Yellow River Basin from 2015 to 2021



注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2023)2726 号的标准地图制作,底图边界无修改。
图 5 2015 和 2021 年黄河流域 55 个地级市人口、资源、产业综合发展评价价值空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of the evaluation values of comprehensive development of population, resources and industries in 55 prefecture-level cities in the Yellow River Basin in 2015 and 2021

2.2 耦合协调度的时空演变趋势

2.2.1 耦合协调度的时序演变

为分析研究区在 2015—2021 年期间耦合协调水平的时间变化规律,本文采用 Kernel 核密度估计法,并借助 MATLAB 做出三维图(见图 6)。由图可得,核密度曲线呈现“逐渐右移,峰值总体波动不大,以单峰为主”的演化特点。其中,核密度曲线整体呈右移态势,说明耦合协调水平总体

升高,存在向更高阶段发展的趋势。核密度曲线波峰峰值整体保持相对稳定,表明城市间的耦合协调性变化相对缓慢。曲线左尾逐渐向中心收拢,右尾逐渐偏离中心,这表明处于勉强协调水平的城市逐渐增多。此外,观察到耦合协调度演化曲线主要以“单峰”为主,表明在城市间的耦合协调度变化中,不存在明显的多级或两级分化情况,也不存在强核特征的区域。

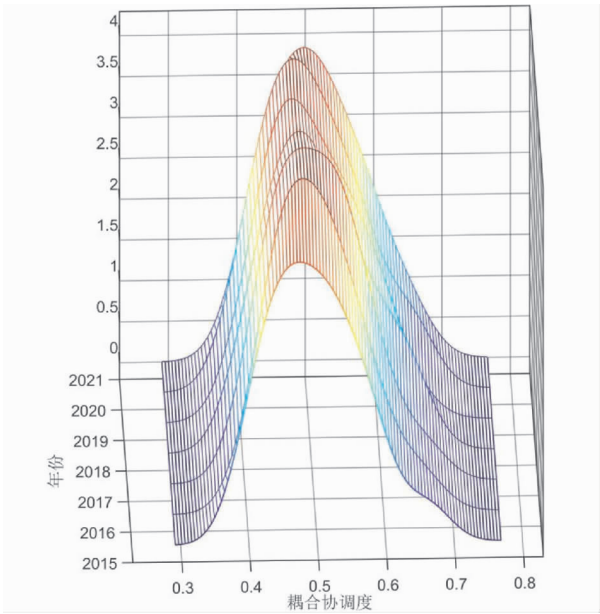
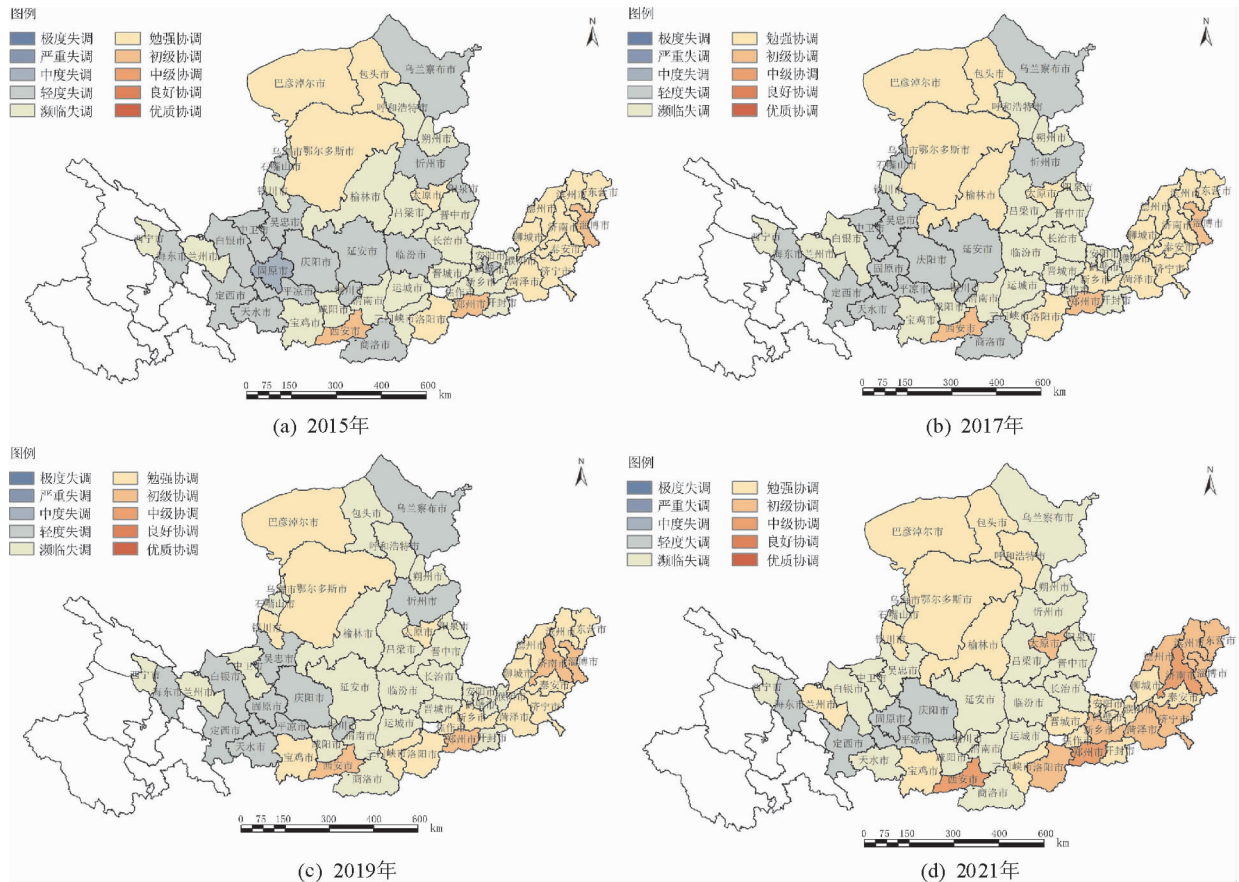


图 6 2015—2021 年期间耦合协调水平的时
Fig. 6 Temporal changes in coupling coordination level
from 2015 to 2021



注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2023)2726 号的标准地图制作,底图边界无修改。

图 7 黄河流域资源-人口-产业耦合协调度空间演变格局

Fig. 7 Spatial evolution pattern of coupling coordination degree of "resource-population-industry" in the Yellow River Basin

2.2.2 耦合协调度的空间差异

为进一步研究黄河流域资源-人口-产业耦合协调度的空间分布特征,本文取 2015、2017、2019 和 2021 年 4 个时间截面的耦合协调度进行分析,并利用 ArcGIS 10.4 绘制了城市耦合协调度空间演变图(见图 7)。总体来看,资源-人口-产业系统的耦合协调度多处在濒临失调和勉强协调发展阶段,且呈现“东高西低”的态势。

从局部来看,流域内处于失调阶段的城市多分布在黄河流域中上游地区的陕西省、青海省、甘肃省和宁夏回族自治区内。这些地区生态环境相对脆弱、人口相对稀少、经济水平相对较低,且系统之间的协调性相对不足,因而整体耦合协调程度较低。值得注意的是,巴彦淖尔和鄂尔多斯市,虽然地理位置相比东部地区欠佳,但由于是能源型城市,丰富的矿产资源推动了地区经济和产业发展,从而提升了人民的生活水平,形成了一种互动循环,因此耦合协调度较高。然而,这类城市如

果不能实现产业转型升级,可能会面临资源耗竭的风险,从而导致耦合协调度的降低。迈入协调发展阶段的 城市多分布于黄河流域下游的山东、河南省境内,在区位、技术和政策等优势推动下,这些城市产业创新开放力、人均 GDP 和资源保护意识等领先于其他地区,因而耦合协调度相对较高。

从个体来看,资源-人口-产业耦合协调度排名靠前的城市包括西安市、郑州市和济南市。其中,西安市排名在区域内处于最前列,且耦合协调度增长值相对较大。原因在于,近些年在“一带一路”倡议等国家政策引导下,西安市的产业开放性逐渐增强,产业结构不断优化,使得该市在国家 and 区域层面取得显著的发展成果。人口方面,西安市对邻近地区的“虹吸效应”,加之人才引进和落户政策的实施,推动了城镇化率也提升了人口素质。“烟头不落地”“车让人”等举措,有效提高了城市的环境卫生水平,增进了居民的生活幸福感。在资源环境方面,开展了大气污染防治、水环境质量提升、秦岭和农村生态环境保护等系列综合治理措施,为城市的资源和生态保护提供了

表 3 2015—2021 年黄河流域人口-资源-产业系统耦合协调度的全局 Moran's I 指数

Tab. 3 Global Moran's I index of the coupling coordination degree of "population-resource-industry" system in the Yellow River Basin from 2015 to 2021

年份	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Moran's I 指数	0.429 5	0.430 9	0.392 0	0.459 5	0.398 1	0.396 7	0.464 2
z 值	4.825 3	4.847 7	4.420 7	5.147 8	4.839 7	4.495 3	5.221 6
p 值	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0

2.3.2 局部空间集聚特征分布

通过局部 Moran's I 指数,绘制 2015、2017、2019 和 2021 年黄河流域 55 个地级市耦合协调发展水平的 LISA 聚类结果(见图 8),对比多年的聚类图发现,黄河流域的耦合协调水平在空间上形成了两个主要集聚区。其中,“高-高”集聚区主要由黄河下游地区的济南、淄博、东营和滨州市等组成。究其原因,在于 2007 年发布的《济南都市圈规划》为以济南为中心,联同淄博、泰安、德州、滨州、莱芜和聊城市共同形成的济南都市圈注入了新的活力与内涵,促使 7 市在交通互联、产业协同、生态共保、公服共享等方面的合作更为密切。这种合作机制提升了区域整体综合竞争力,推动了区域内各城市的良性发展。2020 年郑州市和洛阳市被赋予河南发展的“双引擎”重要使命,这

有力支持。这种综合推进的模式使得西安市在耦合协调程度上保持了较好的发展态势。郑州市和济南市作为省会城市,集聚着更多的高水平创新性人才,其产业更加多元化且开放性较强,同时对资源的保护和生态环境的重视程度通常较高,因而耦合协调程度处在流域前列。

2.3 空间关联特性分析

2.3.1 全局空间自相关

通过 ArcGIS 10.4 计算 2015—2021 年黄河流域人口-资源-产业耦合协调发展水平的全局 Moran's I 指数(见表 3)。由表可得,Moran's I 指数均为正,p 值均为 0.000 0,在 1% 的置信水平上显著。在 2015 年到 2020 年间,Moran's I 指数总体在 0.4 左右波动,到 2021 年增长至 0.464 2,其值总体呈现逐渐递增的趋势。这一结果表明,黄河流域的不同地区之间资源、人口和产业的协调发展存在一种空间上的一致性,即部分地区的耦合协调水平与相邻地区呈现出聚集特征。这对于理解流域内部不同地区的发展状态、优势产业的集聚以及制定差异化的发展政策具有一定的指导意义。

一决策推动了两个城市的经济发展和紧密合作关系,促使洛阳市和郑州市在 2021 年形成了新的耦合协调度“高-高”集聚区。“低-低”集聚区主要位于黄河流域上游地区,包括固原、庆阳、平凉等城市。这些地区的经济发展水平相对较低,仍处于高速发展的机遇期和新旧动能转换阵痛期,这种情况使得地区的经济发展对本地与邻近地区的人口规模、产业结构和生态环境的耦合度表现不显著^[35]。

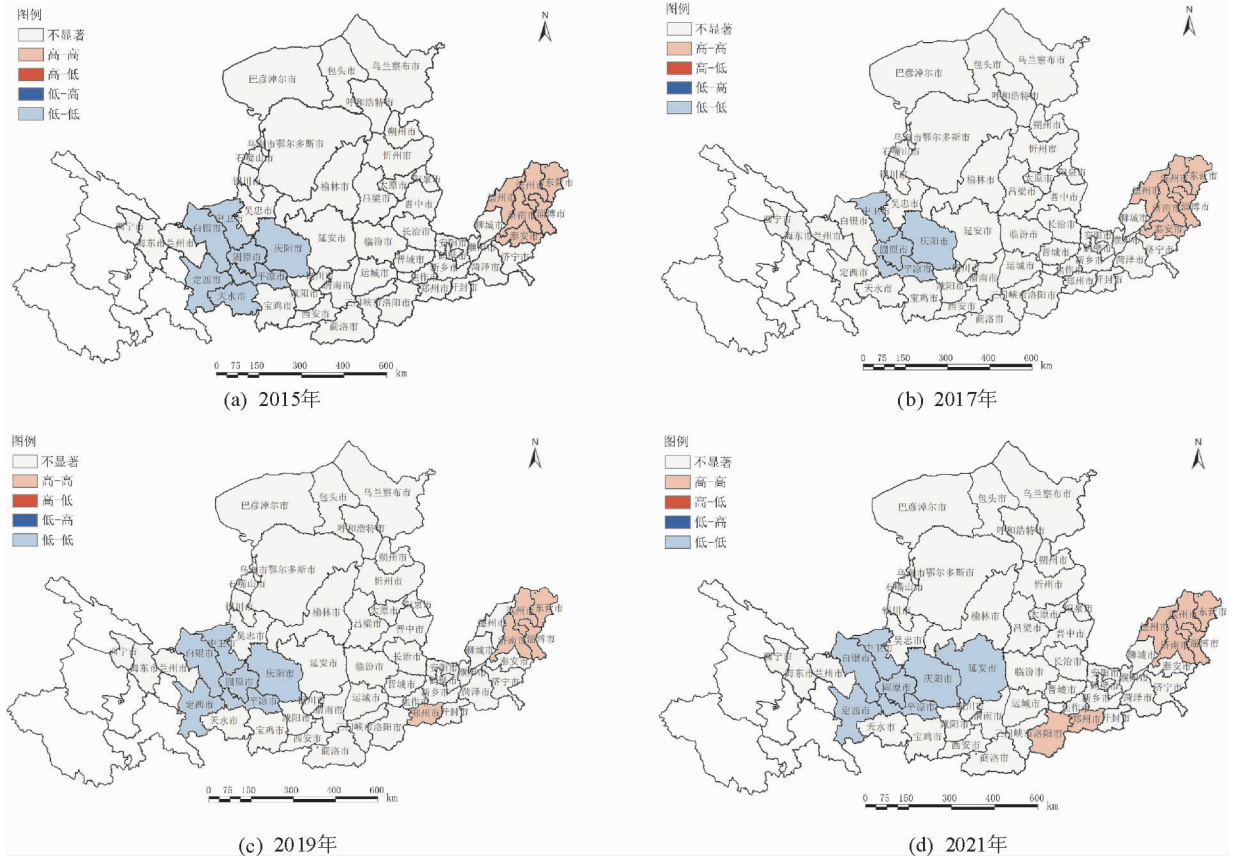
3 影响因素的重要性与层次性分析

3.1 影响因素的重要性分析

在对影响因素重要性初步判断的基础上,本文采用 DEMATEL 方法对黄河流域资源-人口-产

业高质量发展的 20 个影响因素指标进行量化分析,深入研究和评估了这些因素的中心度和原因度。其中,中心度表示影响因素在系统中的重要程度,中心度数值越大,代表因素越重要。原因度指因素对其他因素的影响程度,负值表明该因素

是结果因素,易受其他因素影响;相反,正值则表明它是原因因素,具有影响其他因素的潜力。为了更清晰地呈现黄河流域资源-人口-产业高质量发展的影响因素,以中心度为横坐标,原因度为纵坐标,将 20 个影响因素进行比较(见图 9)。



注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2023)2726 号的标准地图

图 8 黄河流域资源-人口-产业系统耦合协调度的局部 Moran's I 指数演变格局

Fig. 8 Partial Moran's I index evolution pattern of coupling coordination degree of "resource-population-industry" system in the Yellow River Basin

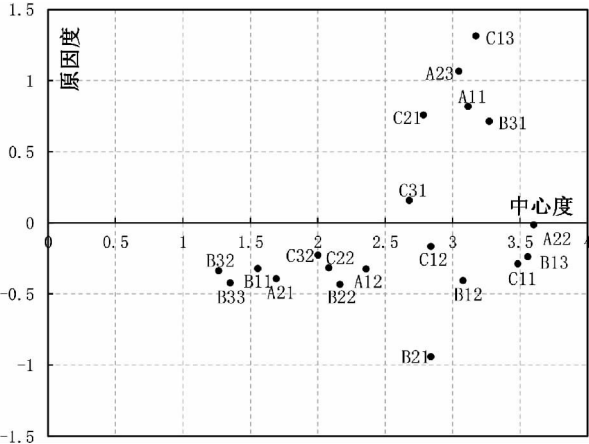


图 9 各影响因素的原因度和中心度属性分布

Fig. 9 The distribution of causal and centrality attributes for each influencing factor

从黄河流域资源-人口-产业高质量发展影响因素的中心度来看,A22 人均地区生产总值,B13 单位建设用地 GDP,C11 地区生产总值增长率,B31 环境规制强度和 C13 第二、三产业占 GDP 比重是评分最高的 5 项,这些因素在整体系统中具有较高的中心地位,对整个系统的影响程度较大。因此,在制定流域发展战略时,这些因素需要得到特别的关注。从原因度来看,A22 人均地区生产总值,B12 单位 GDP 能耗和 B21 的 PM_{2.5} 年平均浓度等 14 项为结果因素,C13 第二、三产业占 GDP 比重,A23 教育支出占财政支出比重和 C21 科学技术支出占财政支出比重等 6 项为原因因素。为推动黄河流域资源-人口-产业的高质量发展,必须着眼于这 6 个关键原因因素。通过调整

这些因素,可以优化其他相关因素,实现逐层的协同作用,从而全面提升整体发展水平。

3.2 影响因素的层次和作用路径分析

根据 ISM 模型的层次划分结果和可达集、前因集分析结果,得到影响因素多级递阶有向图结构模型(见图 10)。模型中有向箭线表示原因要素指向结果要素的因果关系,双向箭线则表示两因素之间的强关联,互为因果。模型中第一层因素构成了该模型的表层影响因素,这些因素代表系统内的基本因素,对黄河流域资源-人口-产业高质量发展具有直接推动作用。当流域资源、人口和产业发展处于较高水平时,对这些因素进行调控,往往会有明显效果。第二、三、四层为模型的中间层,这些因素既是直接影响第一层的关键因素,同时也受到第五层因素的直接或间接影响,调控这些因素可以在系统内产生连锁反应,从而影响系统的整体性能。第五层因素则是模型的深层影响因素,直接或间接地影响着上层各级因素,是整个系统中最重要、最根本的影响因素,对系统目标的影响通常是潜移默化的。

根据图 10 可知,表层影响因素包括 A22 人均地区生产总值、B12 单位 GDP 能耗、B13 单位建设用地 GDP、B21 的 $PM_{2.5}$ 年平均浓度和 C11 地区生产总值增长率,这 5 个因素直接影响着流域的经济、资源利用效率和人民生活水平,是实现最迅速调控流域高质量发展的要点,在流域高质量发展中应对这些因素加以重视。深层影响因素涵盖了 A23 教育支出占财政支出比重、B31 环境规制强度、C13 第二、三产业占 GDP 比重和 C21 科学技术支出占财政支出比重,这些因素在系统中处于主导地位,通过对它们的调控和引导,能够对表层因素产生深刻而长远的影响,在推动黄河流域资源-人口-产业高质量发展过程中,必须特别关注和强调这些根本要素。其余第二、三、四层因素均为中层影响因素,它们在系统中充当传递性的角色,将深层影响因素的影响传递到表层影响因素。城市制定发展策略时需要关注这些中层因素,通过调控它们来间接影响其他因素,以实现流域的高质量发展目标。

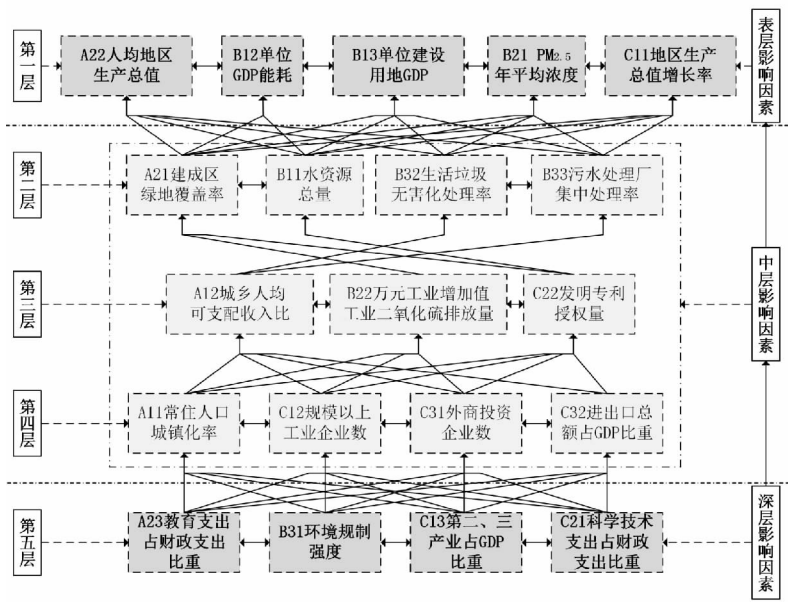


图 10 多级递阶有向图
Fig. 10 Multi-level hierarchical directed graph

3.3 关键影响因素分析

根据图 9、图 10 可知,环境规制强度,第二、三产业占 GDP 比重,教育支出占财政支出比重和科学技术支出占财政支出比重这 4 个要素的中心度、原因度值较大,是系统深层影响因素,因此这 4 个要素在黄河流域资源-人口-产业高质量发展中发挥的作用最大。

1) 加强环境规制强度是提升流域生态环境的重要手段。《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》指出,黄河流域资源环境污染问题表象在水里、问题在流域、根子在岸上^[36]。根据流域内各城市 2015—2021 年政府工作报告中“环境保护”相关词汇出现频数和工作报导总词数的比值可知,黄河流域的环境规制强度逐渐上升,尤其

是下游地区以及资源型城市如巴彦淖尔市、西宁市,表现出较高的环境规制强度。以巴彦淖尔市为例,环境规制强度的提升为城市带来了的正面效应,如专利授权数的显著增加、单位工业增加值二氧化硫排放量和 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均浓度明显下降以及新能源产业的快速增长。这表明了环境规制强度的提升,能够触发技术创新、产业结构调整、环境污染防治等多方面的积极变革,从而推动地区资源环境改善、产业绿色创新发展,提升居民生活环境提升,是实现高质量发展的有效途径。

2) 第二、三产业占 GDP 比重直接关系到区域经济发展质量和资源环境发展可持续性。第二、三产业占 GDP 比重高,通常意味着地区高技术、高附加值的产业占比较大,这些产业往往对技术创新的需求更为迫切,因而有利于助推地区产业的技术水平提升,技术的提升会进一步增强和巩固地区经济发展,最终实现经济的高质量发展。同时,不断优化产业结构并增加第二、三产业占比,能降低生产过程对资源的需求,促进地区资源的可持续利用,且有助于减少环境污染,提高生态环境质量。

3) 科学技术支出占财政支出比重通常反映政府对科研与技术创新的重视程度。这意味着更多的资源被投入到科学研究、技术开发和创新项目中。在黄河流域,科学技术投入有助于培育高附加值、高科技含量的产业,从而推动产业结构升级,提升整个产业体系的竞争力。同时科技投入也为解决环境和资源问题提供有力支持。以太原市为例,其将科技作为财政支出的优先领域,取得了显著成果。专利授权数的大幅增加、科技成果转化速度的明显加快等,成功推动了太原市传统产业的升级,实现了“点煤成金”的转变,为地方经济带来新的效益。

4) 教育支出的比重反映政府对人力资本的投资意愿,高比重的教育支出表明政府对培养高素质人才的重视。教育投入虽然效果不会立刻显现,但随着时间推移,它会提高劳动生产率,促使产业更快速地实现创新和升级,推动城市文化多元化的发展,从而潜移默化地影响城市的发展。以黄河流域下游的山东各市为例,较高的教育投入实现了基本均衡的城乡义务教育,减小了城乡教育差距,全社会的文化素养水平也在提高。同时这种全面的教育投入通过培育人力资本和推动科技进步,有效促进了地区经济的增长。

4 结论与建议

4.1 结论

本文采用耦合协调度模型,对黄河流域各城市 2015—2021 年资源-人口-产业高质量发展耦合协调水平的时空演变特征进行分析,运用 DEMATEL-ISM 模型,识别影响黄河流域资源-人口-产业高质量发展的关键因素,并对各影响因素之间的因果关系和层级结构进行解析得到如下结论。①2015—2021 年黄河流域人口、资源和产业系统发展指数均呈上升趋势,其中人口子系统发展指数最高,资源子系统次之,产业子系统发展指数较低。②2015—2021 年,黄河流域各城市资源、人口、产业系统的耦合协调度呈现“逐年递增、东高西低”的态势。城市耦合协调程度多处在濒临失调和勉强协调区间,其中西安市、郑州市和济南市的耦合协调水平较高。③黄河流域各城市的耦合协调度呈现出较强的空间正相关性,全局 Moran's I 指数呈现逐渐递增趋势。部分地区在地理分布上呈现空间集聚特征,其中,济南市-东营市-淄博市集聚区和郑州市-新乡市集聚区呈现“高-高”集聚特征。固原市-庆阳市-平凉市集聚区呈现“低-低”集聚特征。④影响黄河流域资源-人口-产业高质量发展的关键因素为教育支出占财政支出比重,环境规制强度,第二、三产业占 GDP 比重和科学技术支出占财政支出比重。

4.2 建议

本研究根据黄河流域资源-人口-产业高质量发展的耦合协调特征及其关键影响因素识别结果,同时基于新发展理念及黄河流域生态保护和高质量发展的重大战略部署,提出黄河流域高质量发展的建议。

从资源、人口、产业三大系统层面来看。①人口系统方面,继续坚定的实施科教兴国战略,始终把教育摆在优先发展的战略位置,不断扩大教育投入,提高人口整体素质,培养具备创新能力和适应性的人才;推动城乡一体化发展,提升农村居民生活水平,促进人口在城乡间的均衡流动;制定灵活的就业政策,鼓励创业和自主就业,提高劳动力参与率,确保居民能够稳定就业、提高收入水平。②资源系统方面,要继续提高环境规制强度,制定和完善相关环保法规,建立全面、准确的环境监测网络,同时强化环境审核;黄河流域中上游地区生

态环境脆弱,因此要更加谨慎、合理的对资源进行开发利用,通过科技创新等手段提高资源的利用效率;坚持生态优先,在流域内打破行政壁垒,共同抓好大保护,协同推进大治理,加快沿黄生态廊道建设。③产业系统方面,应推动流域内资源依赖型城市的产业结构升级,发展战略性新兴产业、高新技术产业和文化旅游业;继续加大对科学技术的投入比重,推动产业创新能力,为流域高质量发展提供持续动力;鼓励企业建立跨地区的产业联盟,推动产业链的协同发展;同时,黄河中上游地区应发挥其新能源资源赋存优势,强优补短,实现产业发展的“弯道超车”。

从资源-人口-产业系统耦合协调发展层面来看。①空间治理方面。要制定综合的空间规划和布局,科学安排资源开发、人口分布和产业布局;在国土空间规划中,将生态保护作为首要任务,严守三条控制线,确保资源的可持续利用;加强基础设施建设,提高资源-人口-产业的空间联通性。②体制机制方面。多部门联动协同,应设立专门的协同发展领导机构,负责统筹协同发展的规划、实施和监测;建立政府与企业的协同机制,激发企业参与协同发展的积极性,推动产业发展与资源环境保护的协同;建立黄河流域资源-人口-产业信息共享平台,便于更好地了解流域的发展现状及变化规律,为耦合协同发展提供科学依据。③政策保障方面。根据流域内不同地区的资源禀赋、人口分布和产业特点,制定差异化的政策;设立激励机制,如对资源-人口-产业耦合协同发展取得显著成效的地区和企业给予财政奖励、税收优惠等政策支持。

参考文献

[1] 刘琳轲,梁流涛,高攀,等. 黄河流域生态保护与高质量发展的耦合关系及交互响应[J]. 自然资源学报, 2021, 36(1): 176-195.

LIU L K, LIANG L T, GAO P, et al. Coupling relationship and interactive response between ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(1): 176-195.

[2] 任保平, 豆渊博. 黄河流域生态保护和高质量发展研究综述[J]. 人民黄河, 2021, 43(10): 30-34.

REN B P, DOU Y B. Literature review on ecological environment protection and high-quality development of the Yellow River Basin[J]. Yellow River, 2021, 43

(10): 30-34.

[3] 化祥雨,金祥荣,吕海萍,等. 高质量发展耦合协调时空格局演化及影响因素:以浙江省县域为例[J]. 地理科学, 2021, 41(2): 223-231.

HUA X Y, JIN X R, LYU H P, et al. Spatial-temporal pattern evolution and influencing factors of highquality development coupling coordination: Case on counties of Zhejiang Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(2): 223-231.

[4] 马瑞. 新发展理念视角下黄河流域9省高质量发展评价与空间分布研究[J]. 资源与产业, 2022, 24(1): 160-171.

MA R. Research onevaluation and spatial distribution of high-quality development in 9 provinces of the Yellow RiverBasin from the perspective of new development concepts[J]. Resources & Industries, 2022, 24(1): 160-171.

[5] 徐辉,师诺,武玲玲,等. 黄河流域高质量发展水平测度及其时空演变[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 115-126.

XU H, SHI N, WU L L, et al. High-quality development level and its spatiotemporal changes in the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 115-126.

[6] 李梦欣,任保平. 新时代中国高质量发展的综合评价及其路径选择[J]. 财经科学, 2019, 5: 26-40.

LI M X, REN B P. Comprehensive evaluation and path choice of China's high-quality development in the new era[J]. Finance & Economics, 2019, 5: 26-40.

[7] 李梦程,李琪,王成新,等. 黄河流域人地协调高质量发展时空演变及其影响因素研究[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(2): 1-8.

LI M C, LI Q, WANG C X, et al. Temporal and spatial evolution of human land coordinated high-quality development in the Yellow River Basin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(2): 1-8.

[8] 任保平,杜宇翔. 黄河流域经济增长-产业发展-生态环境的耦合协同关系[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(2): 119-129.

REN B P, DU Y X. Coupling coordination of economic growth, industrial development and ecology in the Yellow River Basin[J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(2): 119-129.

[9] 赵金辉,修浩然,王梦,等. 基于改进 DPSIR 模型的黄河流域高质量发展评价[J]. 人民黄河, 2022, 44(2): 16-20.

ZHAO J H, XIU H R, WANG M, et al. Construction of high-quality development evaluation system of the Yellow River Basin based on improved DPSIR model

- [J]. *Yellow River*, 2022, 44(2): 16-20.
- [10] 傅伯杰,王帅,沈彦俊,等. 黄河流域人地系统耦合机理与优化调控[J]. *中国科学基金*, 2021, 35(4): 504-509.
- FU B J, WANG S, SHEN Y J, et al. Mechanisms of human-natural system coupling and optimization of the Yellow River Basin[J]. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 2021, 35(4): 504-509.
- [11] 刘建华,黄亮朝,左其亨. 黄河下游经济-人口-资源-环境和谐发展水平评估[J]. *资源科学*, 2021, 43(2): 412-422.
- LIU J H, HUANG L C, ZUO Q T. Evaluation of harmonious development of economy-population-resource-environment in the lower reaches of the Yellow River[J]. *Resources Science*, 2021, 43(2): 412-422.
- [12] 刘彦随,夏军,王永生,等. 黄河流域人地系统协调与高质量发展[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2022, 52(3): 357-370.
- LIU Y S, XIA J, WANG Y S, et al. Coordinated human-earth system and high-quality development in Yellow River Basin[J]. *Journal of Northwest University(Natural Science Edition)*, 2022, 52(3): 357-370.
- [13] 韩叙,柳潇明,刘文婷,等. 黄河流域绿色金融与经济高质量发展耦合协调时空特征及驱动因素[J]. *经济地理*, 2023, 43(9): 121-130.
- HAN X, LIU X M, LIU W T, et al. Spatio-temporal characteristics of the coupling coordinating relationship between green finance and economic high-quality development in the Yellow River Basin and its driving factors[J]. *Economic Geography*, 2023, 43(9): 121-130.
- [14] 苏永伟,刘泽鑫. 资源-环境约束下黄河流域产业结构优化影响因素研究: 基于 2008—2018 年的数据分析[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2021, 51(3): 425-437.
- SU Y W, LIU Z X. Research on the factors influencing the optimization of industrial structure in the Yellow River Basin under resource-environment constraints: Analysis based on the data from 2008 to 2018[J]. *Journal of Northwest University(Natural Science Edition)*, 2021, 51(3): 425-437.
- [15] 岳立,薛丹. 黄河流域沿线城市绿色发展效率时空演变及其影响因素[J]. *资源科学*, 2020, 42(12): 2274-2284.
- YUE L, XUE D. Spatiotemporal change of urban green development efficiency in the Yellow River Basin and influencing factors[J]. *Resources Science*, 2020, 42(12): 2274-2284.
- [16] 郭付友,佟连军,仇方道,等. 黄河流域生态经济走廊绿色发展时空分异特征与影响因素识别[J]. *地理学报*, 2021, 76(3): 726-739.
- GUO F Y, TONG L J, QIU F D, et al. Spatio-temporal differentiation characteristics and influencing factors of green development in the eco-economic corridor of the Yellow River Basin[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(3): 726-739.
- [17] 付云鹏,李燕伟,徐琛,等. 城市人口结构与资源环境耦合的时空特征分析[J]. *环境工程*, 2017, 35(4): 160-164.
- FU Y P, LI Y W, XU C, et al. Temporal and spatial characteristics of the coupling degree between population structure and environment[J]. *Environmental Engineering*, 2017, 35(4): 160-164.
- [18] 高志强,刘纪远,庄大方. 基于遥感和 GIS 的中国土地资源生态环境质量同人口分布的关系研究[J]. *遥感学报*, 1999, 3(1): 66-70.
- GAO Z Q, LIU J Y, ZHUANG D F. The relations analysis between ecological environmental quality of Chinese land resources and population[J]. *National Remote Sensing Bulletin*, 1999, 3(1): 66-70.
- [19] 王宇菲,王隽雄,李阳. 陕西省土地资源承载力时空演变格局研究[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2023, 53(4): 541-553.
- WANG Y F, WANG J X, LI Y. Study on temporal and spatial evolution pattern of land resources carrying capacity in Shaanxi Province[J]. *Journal of Northwest University(Natural Science Edition)*, 2023, 53(4): 541-553.
- [20] TSEN W H, FURUOKA F. The relationship between population and economic growth in Asian economies[J]. *ASEAN Economic Bulletin*, 2005, 22(3): 314-330.
- [21] 闫东升,何甜,陈雯. 人口聚集、经济扩散及其不一致状况: 来自长江三角洲的经验研究[J]. *经济地理*, 2017, 37(9): 47-56.
- YAN D S, HE T, CHEN W. Population agglomeration, economic dispersion and inconsistent pattern: Evidence from the Yangtze River Delta[J]. *Economic Geography*, 2017, 37(9): 47-56.
- [22] 高爽,董雅文,张磊,等. 基于资源环境承载力的国家级新区空间开发管控研究[J]. *生态学报*, 2019, 39(24): 9304-9313.
- GAO S, DONG Y W, ZHANG L, et al. Research on urban space development and control of national new areas based on environmental carrying capacity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(24): 9304-9313.
- [23] 丁超,胡永江,王振华,等. 水资源约束条件下包头

- 市产业结构调整与水资源优化配置研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2020, 50(4): 674-684.
- DING C, HU Y J, WANG Z H, et al. The research on Baotou industrial structure adjustment and the water resource optimal allocation under the limited water resources condition[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2020, 50(4): 674-684.
- [24] 朱磊,彭耿,刘芳. 人口-产业-资源协同发展对贫困的影响研究:以湖南武陵山片区为例[J]. 资源开发与市场, 2018, 34(2): 218-224.
- ZHU L, PENG G, LIU F. Research on impact of coordinated development of population, industry and resources on poverty: A case study of Wuling Mountain Area in Hunan Province[J]. Resource Development & Market, 2018, 34(2): 218-224.
- [25] 王晗,周健. 低碳经济模式下新疆“人口-产业-资源”格局时空特征分析[J]. 山东师范大学学报(自然科学版), 2023, 38(2): 136-145.
- WANG H, ZHOU J. Analysis of the spatiotemporal characteristics of the "population-industry-resources" pattern in Xinjiang under the low-carbon economic model[J]. Journal of Shandong Normal University (Natural Science), 2023, 38(2): 136-145.
- [26] 路振华. 基于资源、产业、人口协同的小城镇发展模式研究[J]. 经济体制改革, 2014, (5): 58-62.
- LU Z H. Research on the development model of small towns based on resource, industry, and population synergy[J]. Reform of Economic System, 2014, (5): 58-62.
- [27] 赵建吉,刘岩,朱亚坤,等. 黄河流域新型城镇化与生态环境耦合的时空格局及影响因素[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 159-171.
- ZHAO J J, LIU Y, ZHU Y K, et al. Spatiotemporal differentiation and influencing factors of the coupling and coordinated development of new urbanization and ecological environment in the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 159-171.
- [28] 吴文恒,牛叔文,郭晓东,等. 中国人口与资源环境耦合的演进分析[J]. 自然资源学报, 2006, 21(6): 853-861.
- WU W H, NIU S W, GUO X D, et al. Evolutional analysis of coupling between population and resource-environment in China[J]. Journal of Natural Resources, 2006, 21(6): 853-861.
- [29] 张建鹏,陈诗一. 金融发展、环境规制与经济绿色转型[J]. 财经研究, 2021, 47(11): 78-93.
- ZHANG J P, CHEN S Y. Financial development, environmental regulations and green economic transition[J]. Journal of Finance and Economics, 2021, 47(11): 78-93.
- [30] 马海涛,徐植飏. 黄河流域城市群高质量发展评估与空间格局分异[J]. 经济地理, 2020, 40(4): 11-18.
- MA H T, XU X F. High-quality development assessment and spatial heterogeneity of urban agglomeration in the Yellow River Basin[J]. Economic Geography, 2020, 40(4): 11-18.
- [31] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系:以珠江三角洲城市群为例[J]. 热带地理, 1999, 19(2): 171-177.
- LIAO C B. Quantitative judgement and classification system for coordinated development of environment and economy: A case study of the city group in the Pearl River Delta[J]. Tropical Geography, 1999, 19(2): 171-177.
- [32] 孙永河,韩玮,段万春. 复杂系统 DEMATEL 算法研究进展评述[J]. 控制与决策, 2017, 32(3): 385-392.
- SUN Y H, HAN W, DUAN W C. Review on research progress of DEMATEL algorithm for complex systems[J]. Control and Decision, 2017, 32(3): 385-392.
- [33] 姜沁瑶,李洁. 基于 ISM 的建筑工人安全意识影响因素[J]. 土木工程与管理学报, 2016, 33(3): 106-110, 117.
- JIANG Q Y, LI J. Influencing factors of construction workers' safety awareness based on interpretive structure model[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2016, 33(3): 106-110, 117.
- [34] 陈立文,张孟佳,李素红,等. 基于 DEMATEL-ISM 的既有建筑节能改造推广影响因素研究[J]. 建筑经济, 2022, 43(1): 84-92.
- CHEN L W, ZHANG M J, LI S H, et al. Influencing factors of energy saving retrofit of existing buildings based on DEMATEL-ISM model[J]. Construction Economy, 2022, 43(1): 84-92.
- [35] 徐晓光,寇佳丽,郑尊信. 产业结构升级与生态环境优化的耦合协调[J]. 宏观经济研究, 2022, (8): 131-156.
- XU X G, KOU J L, ZHENG Z X. Coupling coordination of industrial structure upgrading and ecological environment optimization[J]. Macroeconomics, 2022, (8): 131-156.
- [36] 黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要[N]. 人民日报, 2021-10-09(01).