

分类号 C8/402  
U D C

密级 公开  
编号 10741

兰州财经大学

LANZHOU UNIVERSITY OF FINANCE AND ECONOMICS

硕士学位论文

(专业学位)

论文题目 沿黄九省区生态保护与经济高质量  
协同发展测度及影响因素研究

研究生姓名: 任玉丹

指导教师姓名、职称: 郭精军、教授

学科、专业名称: 统计学、应用统计

研究方向: 经济统计应用

提交日期: 2024年6月5日

## 独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名： 任玉丹 签字日期： 2024.6.3

导师签名： 郭峰 签字日期： 2024.6.3

导师(校外)签名： \_\_\_\_\_ 签字日期： \_\_\_\_\_

## 关于论文使用授权的说明

本人完全了解学校关于保留、使用学位论文的各项规定， 同意 (选择“同意” / “不同意”) 以下事项：

1. 学校有权保留本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；

2. 学校有权将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊(光盘版)电子杂志社”用于出版和编入CNKI《中国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分内容。

学位论文作者签名： 任玉丹 签字日期： 2024.6.3

导师签名： 郭峰 签字日期： 2024.6.3

导师(校外)签名： \_\_\_\_\_ 签字日期： \_\_\_\_\_

**Research on the Measurement and  
Influencing Factors of the Coordinated  
Development of Ecological Protection and  
Economic High Quality in Nine Provinces  
and Regions Along the Yellow River**

**Candidate : Yudan Ren**

**Supervisor: Jingjun Guo**

## 摘 要

黄河流域生态和经济的协同发展关乎我国发展大计,然而黄河流域不仅面临着生态和水文问题,而且面临着许多社会和经济问题,同时在生态环境保护和经济社会发展方面依然存在着明显的不平衡性。因此探究黄河流域生态保护与经济高质量协同发展机制,推动黄河流域区域内和区域间协同发展,已经成为黄河流域缓解生态环境压力和全方位提高经济质量的必然选择。

为实现黄河流域生态保护和经济高质量协同发展,本文在对生态环境和经济高质量内涵的梳理的基础上,分别从“压力—状态—响应”和“创新—协调—绿色—开放—共享”方面构建生态环境保护和经济高质量发展指标体系,运用纵横向拉开档次法测度黄河流域九省区生态保护综合水平和经济高质量发展综合水平;运用耦合协调度模型对系统间协同性测度,并从流域整体和省域视角分析其协同性空间分布特征,根据 Dagum 基尼系数探究黄河流域九省区协同性的区域差异来源,运用 Kernel 密度估计方法分析协同性的动态演进规律,利用 Markov 链确定协同性的最终转移趋势;最后运用空间杜宾模型探究生态保护中压力、状态、响应指数和经济高质量发展中创新、协调、绿色、开放、共享指数对协同性的影响程度,找到实现黄河流域区域内和区域间协同发展的提升路径。

研究表明:(1)黄河流域生态和经济系统的协同性处于高耦合、中低协调水平,呈现增长趋势;(2)沿黄九省区生态保护和经济高质量发展的协同性具有“东高西低”、“南高北低”的空间分布格局,具有空间异质性,且这种空间差异性主要来源于区域间的差异,绝对差异性逐渐减小但是差异性将长期存在;(3)区域内部压力、状态、响应、创新、协同、绿色、开放、共享指数均对协同发展产生正向促进作用,区域间压力、状态、绿色和开放指数表现出显著的空间溢出效应。

**关键词:** 生态保护 经济高质量发展 耦合协调性 空间杜宾模型

## Abstract

The coordinated development of ecology and economy in the Yellow River Basin is intertwined with China's development plan. However, the YRB is not solely grappling with ecological and hydrological issues, but also confronting numerous social and economic development challenges. Simultaneously, there exists a noticeable disparity in the protection of the ecological environment and the advancement of social and economic sectors.

Thus, delving into the mechanism of harmonizing ecological preservation with high-quality economic growth and fostering harmonious development within and between regions has emerged as an unavoidable decision to mitigate the strain on the ecological environment and enhance economic standards holistically. To achieve the synchronized advancement of ecological preservation and high-quality economic growth in the YRB, an index system is formulated for ecological environmental protection and high-quality economic development based on the essence of the ecological environment and top-notch economic quality, encompassing aspects such as "pressure - state - response" and "innovation - coordination - green - opening - sharing." The vertical and horizontal partition grade method evaluates the comprehensive level of ecological protection and high-quality economic development across the nine provinces. The coupling coordination degree model gauges

inter-system collaboration, examining the spatial distribution characteristics of cooperation at both the basin-wide and provincial levels. The origins of regional disparities in cooperation are probed using the Dagum-Gini coefficient, while the Kernel density estimation method dissects the dynamic evolution pattern of cooperation. The Markov chain discerns the ultimate trend of cooperation transfer. Finally, the spatial econometric model is used to explore the degree of influence of pressure, state and response index in ecological protection and innovation, coordination, green, openness and sharing index in high-quality economic development on the synergy, and to find an improvement path to achieve intra-regional and inter-regional collaborative development in the nine provinces and regions.

The findings reveal that: (1) in the YRB, the interaction between ecological and economic systems is characterized by high coupling, moderate, and low coordination levels, indicating a rising tendency; (2) The coordination between ecological conservation and high-quality economic advancement in the nine provinces spanning the Yellow River displays a spatial distribution trend of "east high, west low" and "south high, north low", exhibiting spatial diversity. This spatial variance predominantly stems from disparities among regions, which are diminishing but projected to persist long-term; (3) Internal pressure, condition, response, innovation, collaboration, eco-friendliness, openness,

and shared indicators all positively contribute to cooperative advancement within regions, while cross-regional pressure, condition, eco-friendliness, and openness indicators exhibit notable spatial diffusion effects.

**Keywords:** Ecological protection; Economic high-quality development; Coupling coordination; Spatial Dubin model

# 目 录

<b>1 引言</b> .....	1
1.1 研究背景与研究意义 .....	1
1.1.1 研究背景 .....	1
1.1.2 研究意义 .....	2
1.2 国内外研究现状 .....	2
1.2.1 生态保护 .....	2
1.2.2 经济高质量发展 .....	3
1.2.3 生态保护与经济高质量发展的协同性 .....	5
1.2.4 生态保护与经济高质量发展协同性的影响因素 .....	5
1.2.5 国内外研究现状综述 .....	6
1.3 研究内容和框架 .....	7
1.3.1 研究内容 .....	7
1.3.2 研究框架 .....	7
1.4 研究方法 .....	8
1.5 创新点 .....	9
<b>2 相关理论基础</b> .....	10
2.1 生态保护 .....	10
2.2 经济高质量发展 .....	11
2.3 协同性理论 .....	12
2.4 可持续发展理论 .....	13
2.5 绿色经济理论 .....	14
<b>3 沿黄九省区生态保护与经济高质量协同发展测度</b> .....	16
3.1 评价指标体系的构建 .....	16
3.1.1 生态保护评价指标体系 .....	16
3.1.2 经济高质量发展评价指标体系 .....	17
3.2 生态保护与经济高质量发展水平测度 .....	20



3.2.1 测度方法介绍 .....	20
3.2.2 沿黄九省区生态保护水平测度 .....	22
3.2.3 沿黄九省区经济高质量发展水平测度 .....	25
3.3 生态保护与经济高质量发展的协同性测度 .....	28
3.3.1 耦合协调度评价模型 .....	28
3.3.2 生态保护与经济高质量发展的协同性测度分析 .....	29
3.4 生态保护与经济高质量协同发展时空特征分析 .....	34
3.4.1 生态保护与经济高质量协同发展的空间分布 .....	34
3.4.2 生态保护与经济高质量协同发展的空间差异 .....	35
3.4.3 生态保护与经济高质量协同发展的分布动态演进 .....	40
3.4.4 生态保护与经济高质量协同发展的长期转移趋势 .....	43
<b>4 生态保护与经济高质量协同发展的影响因素分析 .....</b>	<b>46</b>
4.1 生态保护与经济高质量协同发展的自相关性分析 .....	46
4.1.1 模型介绍 .....	46
4.1.2 空间自相关检验结果分析 .....	47
4.2 生态保护与经济高质量协同发展影响因素分析 .....	50
4.2.1 影响因素分析 .....	50
4.2.2 空间计量模型的设定与检验 .....	53
4.2.3 实证结果分析 .....	54
<b>5 研究总结和展望 .....</b>	<b>61</b>
5.1 研究结论 .....	61
5.2 政策建议 .....	62
5.3 研究展望 .....	64
<b>参考文献 .....</b>	<b>65</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>71</b>

# 1 引言

## 1.1 研究背景与研究意义

### 1.1.1 研究背景

黄河是我国第二长的河流，流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南和山东九个省区，形成“几”字形状，黄河流域扮演着我国生态安全的关键角色，同时也是人口活动和经济发展的关键区域。然而随着人类社会的发展进程逐渐加快，黄河流域不仅面临着生态和水文问题如水土流失、荒漠化、露天开采塌陷、水资源短缺、下游洪水威胁等，而且还面临着许多经济和社会发展问题如发展总体落后、区域差距较大、产业低端化、贫困广泛严重等。这主要表现在脆弱的生态本体和有限的水资源使流域承载力达到上限，在生态脆弱地区大规模的人类生产活动只能依靠农业和畜牧业的支持来维持生计；与人口和产业聚集相适应的上中游二、三产业发展规模有限，没有能力吸引生态脆弱地区超负荷的农牧人口。在资源丰富的地区，资源开发一直局限于简单的开采和粗加工，导致高附加值和就业机会较少的中高端产业发展缓慢。同时，过去实施的生态保护和修复措施如三北防护林建设、退耕还林还草、风沙源治理工程、天然林保护等也需要进一步完善。通过扶贫、移民、农业结构调整等提高人民生活水平的措施，虽取得一些成效但往往侧重于单一的生态或发展方面，没有考虑到生态保护和经济发展的结合。

为改善黄河流域生态环境状况，推进黄河流域经济高质量发展，党中央将“黄河流域生态保护和高质量发展”上升为国家战略，并围绕黄河流域的突出问题和矛盾搭建黄河治理体系，推动黄河流域上、中、下游联合治理，促进全流域经济共同发展。为进一步为黄河流域贯彻落实治理提供依据，中共中央先后发布《黄河流域生态环境和高质量发展保护纲要》和《中华人民共和国黄河保护法》。从国家战略到政策法规的确定，均为黄河流域生态保护和经济高质量发展的研究提供了有力的事实依据。

## 1.1.2 研究意义

通过对黄河流域生态和经济现状研究和国家政策体系的完善,本文以黄河流域为研究对象,为共同推进改善生态环境治理和经济有效增长,研究其二者的协同性及影响因素,这具有非常重要的理论意义和实际意义。

本研究进一步完善了对生态与经济双向作用的协同机制体系,通过对生态保护和经济发展质量内涵的梳理,综合运用协同性理论、可持续发展理论和绿色经济理论探讨生态环境与经济的关系,促进生态保护和经济高质量系统的融合,为进一步探索系统理论关系奠定基础。一方面本文运用具体模型理论将协同性定量化研究,实现了协同性理论研究系统的扩充和实践的充分应用;另一方面运用空间面板模型研究黄河流域九省区生态与经济协同发展的影响因素,为黄河流域的生态和经济发展路径方面提供理论指导。

只有共同实现生态文明建设和经济高质量发展,才能实现百年奋斗目标。生态环境保护和经济高质量的协同发展可以促进资源能源的利用效率、改善生态环境状况、加快产业转型。黄河流域生态脆弱性和经济的缓慢发展促使这一研究的展开,本研究的研究成果可以更好得了解黄河流域九省区生态环境状况、经济高质量发展状况和协同发展程度,将概念化的话题转化为显性化的数字,引起政府和公众对黄河流域生态环境问题和经济高质量发展问题的关注,为生态环境和经济发展的协同性找寻提升路径。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 生态保护

生态最早被认为是生物的生存空间特征,研究对象集中于森林、海洋、荒漠、农田、河流、湖泊等生态环境的保护的研究。随着工业化对生态环境的影响,研究对象逐步发生改变,主要集中在水生态、空气污染治理、城市发展和工业领域生态保护<sup>[68]</sup>。黄河流域生态保护的研究主要集中在水资源的利用开发、综合治理和可持续发展演变、三角洲生态演变、水战略布局和气候治理等方面<sup>[38,63]</sup>。

许多学者从指标体系的构建和测度方法方面进行了积极的探讨,在构建指标

体系时,根据表征指标的不同,主要分为以下三类:第一类选用碳足迹指标,利用生态系统碳动态特征,将二氧化碳排放量作为工业污染的重要指标,通过构建生态系统碳足迹模型分析生态足迹变化和生态环境状况<sup>[44]</sup>;第二类选用环境污染指标,将水污染、空气污染、固体废弃物污染等作为主要指标分析环境污染状况,具体通过工业废水排放量、二氧化碳排放量、氮氧化硫排放量和工业烟粉尘排放量等指标衡量<sup>[26,42]</sup>;第三类选用自然环境指标,综合考虑生态和工业污染系统,具体从废气、废水、废物排放量和森林、林地和植被覆盖率等多个角度衡量<sup>[1,18]</sup>。在测度方法方面,学者们根据指标的不同采取不同的测度方法,对于单一指标一般采用定性分析方法观测其污染密集程度和利用效率<sup>[23]</sup>,对于综合指标体系采用过程生命周期评价<sup>[39]</sup>、空间关联分析<sup>[28]</sup>和综合评价模型<sup>[32]</sup>等定量分析方法衡量生态环境保护状况。

由于生态环境的不断恶化,学者们对生态环境的保护措施提出了不同的观点。第一类是生态环境付费和补偿机制,通过实施一些经济性质但是以生态系统修复、保护和功能为导向的工具,利用环境服务付费产生一种货币或非货币的补偿机制,建立以生态产品为基础的生态补偿机制<sup>[48,51]</sup>;第二类是建立生态自然保护区和划定生态系统红线,通过对自然保护区供应、调节和支持服务的估值验证了生态系统自然保护区的价值,完善生态保护区,将自然保护区划分为部分保护区和完全保护区,划定生态红线保护范围,保障生态环境的自然循环<sup>[14,25,30]</sup>;第三类是通过技术创新、财政分权等手段提升环境质量,在经济全球化趋势存在的情况下,技术创新、财政分权等手段对人类发展和生态环境的改善有正向作用<sup>[4,27]</sup>。

## 1.2.2 经济高质量发展

党的十九大报告指出:我国经济发展已经由高速增长阶段转变为高质量发展阶段,基于此,学术界开始展开对经济高质量发展的问题研究,主要从经济高质量发展的内涵、测度以及提升路径等方面进行研究。

目前学者们主要从狭义和广义两个维度对经济高质量发展的内涵进行研究。狭义层面,主要是以全要素生产率作为主要测度指标,即将高质量发展等同于高效率发展,这种增长方式集约化的转变逐步将全要素生产率替换为劳动生产率<sup>[41]</sup>。除此之外,经济高质量的发展将环境因素纳入考虑范围,全要素生产率逐步演化

为绿色全要素生产率<sup>[40,60]</sup>，更加丰富了经济高质量发展的内涵。广义层面，根据我国的基本国情综合考虑经济发展质量的各个因素，通过建立多维度的指标体系，构造高质量发展指数来对经济发展质量进行界定。经济高质量发展的内涵主要集中在经济发展的供需关系、生产配置、投入和产出、收入和分配，经济内外循环等多个层面，深入探讨经济转变发展方式和经济结构<sup>[57]</sup>。在此基础上，将全要素生产率指标考虑到经济高质量发展水平维度，从提高经济发展效率、促进高质量发展供给和经济结构升级，提高消费水平等维度衡量经济高质量发展<sup>[50]</sup>。为解决经济发展过程中的不平衡不充分的问题，其内涵综合考虑生产生活的各类因素，从新发展理念的创新、协同、绿色、开放、共享五大维度展开，随着国际化竞争的日趋激烈，又将安全因素加入五大发展理念当中<sup>[46]</sup>。

经济高质量发展的测度方法方面，学者们根据内涵的不同采用不同的测度方法。全要素生产率的测度运用数据包络分析方法，根据规模报酬和投入产出的不同采取不同的 BCC 和 CCR 模型<sup>[40]</sup>。经济高质量发展综合指标体系一般从定性角度、定量角度和定性与定量相结合的角度进行测度，定性测度方法如层次分析法加入了很多主观因素，某些经济含量指标不能进行客观描述；而定量分析方法如熵权综合评价法从权重分配和指标客观程度方面均具有优势，由此不断延伸出不同组合赋权的综合评价模型<sup>[34]</sup>；定性与定量相结合的方法如定性与定量的模糊综合评价法将定性问题转化为函数问题，更系统的反映高质量发展水平<sup>[59]</sup>。当研究对象和指标体系的数量较多时，运用机器学习方法如基于混合蛙跳算法的投影追踪模型的计算效率更快且更为准确。静态分析方法显然不涉及时间因素，基于大量具有时间序列性质的指标来说，动态综合评价方法如纵横向拉开档次法、动态因子法等模型可以综合反映区域一段时间的高质量发展水平<sup>[29,45]</sup>。

学者们在经济高质量发展的提升路径方面有不同的观点。第一种观点从经济发展的内部要求展开，一方面将经济发展质量表现为 GDP 的增长，利用 GDP 的增长率衡量经济高质量发展水平<sup>[19,24]</sup>；另一方面从宏观经济角度生产要素的投入与产出、经济增长效率、经济增长的稳定性和可持续性等方面提升经济发展质量<sup>[15]</sup>。第二种观点从经济发展的外部展开，综合考虑人类生产生活因素，从政治的稳定性、金融业的发展、政策制度的指定、外商直接投资、技术进步、文化水平、工业化能力和城乡差距等方面提高经济增长质量<sup>[11,16,17]</sup>。

### 1.2.3 生态保护与经济高质量发展的协同性

协同是研究系统之间相互作用关系,研究系统内部子系统由无序状态转变为有序平衡状态的过程。生态与经济系统是一个动态、相互作用的复杂系统,根据复合系统的性能和运行规则,学者们对其研究的侧重点各有不同,大致可以分为两种类型。

一方面,学者们从子系统之间的相互作用角度进行定量分析,探究生态环境与经济发展之间的因果关系。两个子系统之间的协同关系通常使用离差系数法、结构方程模型、联立方程模型、灰色关联分析法、基尼系数法等模型<sup>[52,64,65]</sup>,多个系统之间的协同关系常用的测度主要有通过复合耦合协调模型、投入产出法、数据包络分析、耦合协调模型等<sup>[58,69,70]</sup>。通过判断系统之间的相关关系可简单了解二者之间的协同性,为进一步探究生态与经济之间的因果关系,学者们利用计量经济模型研究生态环境和经济发展之间的关系,最具代表性的成果是环境库兹涅茨曲线,经研究发现其呈“倒U型”曲线,即在经济发展初期生态环境质量下降,而一旦经济发展超过了某一临界值点,人均收入的提升将有助于改善生态环境质量<sup>[9]</sup>。经过大量学者的反复验证,发现不同地区生态环境与经济发展之间的关系呈现出“N型”、“U型”<sup>[3,7,12]</sup>。

另一方面,学者们从系统之间的协同共生性进行定性分析,分析生态环境与经济发展之间的协同共生关系,运用共生模型、博弈模型、演化博弈模型、发展度模型等方法研究系统之间的协同演化特征,从自组织的角度出发了解系统协同关系的内生机制,为区域可持续发展和生态保护提供依据<sup>[2,8,13,49]</sup>。

### 1.2.4 生态保护与经济高质量发展协同性的影响因素

学者们在研究生态环境和经济高质量协同发展的影响因素时,其作用机制可以概括为三个类型。

第一类是将生态环境看做经济增长的一种生产投入要素,从供给方面来考察资源消耗对经济持续增长的制约<sup>[5]</sup>。这类观点认为,生态环境保护和经济高质量的发展不是相互冲突的,可以通过外部力量同时实现提升生态环境水平和促进经济高质量发展,这类研究主要从两个方面进行研究:一方面,将生态环境作为要

素引入新古典增长模型探讨生态环境和经济增长协同发展的影响因素,此时将技术变革与创新、人口迁移、经济结构变革、要素生产率等因素作为外生变量,探讨经济产品、消费、投资储蓄、资本、能源需求等因素对环境质量和经济发展最优程式化的影响<sup>[20,21,56]</sup>;另一方面,将生态环境作为要素引入内生经济增长模型探讨生态保护和经济增长协同发展的影响因素,此时将技术进步与变革、消费水平、就业水平、环境规制、产业发展、金融发展等因素作为内生变量,引入内生经济增长模型,探究经济增长过程中的最优增长问题<sup>[6,10,22,33,61]</sup>。

第二类是在模型中考虑生态环境质量对经济增长的影响,这类文献主要是针对环境—收入的库兹涅茨倒 U 型曲线关系进行验证研究。这类观点认为,生态环境和经济增长的“倒 U 型”关系不是经济增长内生机制导致的,而是由外部控制措施相互作用的产生结果,生态环境质量很难随着经济增长而得到提升,改善环境质量应从经济和社会的方方面面入手<sup>[62]</sup>。

第三类是通过研究生态环境保护 and 经济增长之间的双向因果关系,探究生态环境和经济高质量发展的影响因素。此类观点是在研究二者双向动态作用特征的基础上,重视环境质量的改善或者退化对经济增长的反作用,表明经济的快速增长将影响生态环境恶化,同时生态环境质量的提升对促进经济增长有着反作用力。

### 1.2.5 国内外研究现状综述

通过上述学者们对于生态环境与经济高质量内涵的研究,进一步了解二者的相互作用关系和影响二者平衡性的因素,可以发现还存在以下不足:第一,现有的研究中围绕生态环境和经济发展之间的关系的研究较为丰硕,但是以黄河流域九省区生态环境状况和以高质量为背景的经济现状的研究还相对匮乏;第二,对于生态保护和经济高质量发展的测度方法主要通过构建线性关系对其发展水平进行静态综合评价,没有综合考虑到指标间的非线性动态关系;第三,当前对生态保护和经济高质量发展之间的关系集中在单向研究,即经济快速发展对资源环境造成的危害或者生态环境的恶化对经济持续发展造成的影响,从整体协同角度实现生态保护和经济高质量发展的研究相对较少;第四,学者们对于研究生态环境和经济高质量协同性影响因素不够全面,仅从指标单一维度进行研究,没有考虑其空间效应因素,因此不能对二者协同发展提出精准全面的政策建议。

基于此,本文从协同视角出发,分别构建沿黄九省区生态环境保护和经济高质量发展指标体系,并采用纵横向拉开档次法对二者水平测度,通过运用耦合协调模型研究二者协同发展演变规律,进一步探讨沿黄九省区生态保护和经济高质量发展协同性的影响因素,为实现黄河流域可持续发展提供理论依据。

## 1.3 研究内容和框架

### 1.3.1 研究内容

根据测度黄河流域生态保护和经济高质量发展协同性和研究协同性的影响因素的行文逻辑,本文的研究内容主要从以下三个方面展开阐述:

一方面,本文对生态保护系统和经济高质量系统的协同性测度并进行时空特征分析。具体来说,本文根据黄河流域九省区生态环境状况与经济发展状况,分别构建生态环境保护和经济高质量发展指标体系,并运用纵横向拉开档次法分别测度生态环境保护水平、经济高质量发展水平,根据耦合协调度模型测度两个系统的协同发展指数。从整体和省际视角分析协同发展指数的时空演变特征时,利用 Dagum 基尼系数分析协同发展指数的具体空间差异来源,采用 Kernel 密度估计方法分析协同发展指数的动态演进规律,运用 Markov 链模型具体分析协同发展指数的长期转移趋势。

另一方面,本文对生态环境保护和经济高质量发展两系统之间的协同性的影响因素展开研究。具体来说,本文在对协同发展指数进行全局自相关检验和局部自相关检验的基础上,进一步探讨生态环境中压力、状态、响应和经济高质量发展中的创新、协调、绿色、开放、共享等因素对流域协同性的影响机制,运用空间面板模型挖掘这些因素对黄河流域整体系统协同性的空间效应,为实现生态与经济协同发展的目标提供理论依据。

### 1.3.2 研究框架

本文对黄河流域两个系统生态和经济的协同发展测度及其影响因素进行研究,首先从概念界定和文献梳理入手,其次根据其内在发生机制对沿黄九省区生态环境保护和经济高质量协同发展水平测度,探究其协同演变规律和内在原因,



并进一步分析影响协同性发展的机理，最后提出实现黄河流域两大系统协同发展的对策建议。论文结构安排如图 1.1：

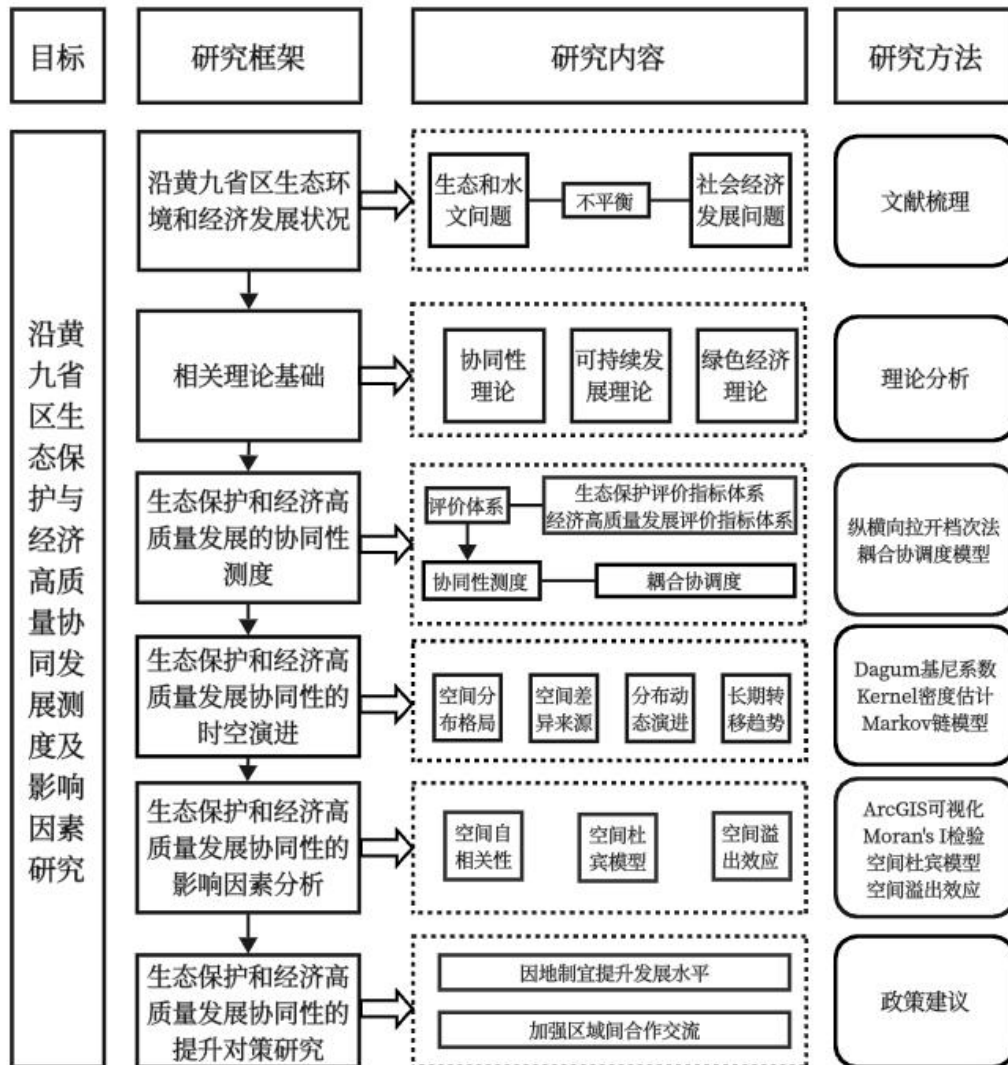


图 1.1 技术路线图

## 1.4 研究方法

本文在对黄河流域生态保护和经济高质量发展两大系统的协同性测度、时空特征分析、影响因素研究中，运用到的研究方法如下：

**纵横向拉开档次法：**是一种基于动态面板数据的综合评价方法，分别从横向和纵向两个方面对指标体系的时间和空间维度计算其差异性，这种方法弥补了静态评价过程中忽略指标随时间变化而造成的趋势性，评价结果更为准确。

**耦合协调度模型：**协同发展要求各系统发展步调保持一致，各方力量得当，两个系统之间功能互补相互合作，相互激励，运用耦合协调模型测度两个系统之

间的相互作用关系和协同性是非常恰当的。

**探索性空间数据分析：**为了研究生态和经济两系统协同性的空间集聚现象，本文从全局自相关和局部自相关探索其协同性的空间分布状况，揭示其空间依赖性，同时为后续空间计量模型的选取提供验证依据。

**空间杜宾模型：**空间计量模型有别于普通计量模型的区别在于其加入了空间特征，其解释变量和被解释变量之间的影响关系受到空间效应的影响。本文在探究协同性的影响因素时引入空间权重矩阵，揭示影响因素对协同性的空间效应，并对空间效应进行分解，探究其内部空间属性。

## 1.5 创新点

首先，研究内容方面从协同视角探究沿黄九省区生态环境保护和经济高质量协同发展。现有的研究仅从经济发展对资源环境造成的危害性或自然资源的消耗对经济发展的影响单方向的研究，本文基于协同性理论，对二者的协同发展指数进行探究，实现沿黄九省区提升经济发展质量的同时改善生态环境状况，促进黄河流域九省区上、中、下游全流域内部和外部协同可持续发展。

其次，测度方法方面运用纵横向拉开档次法分别测度沿黄九省区生态环境保护水平和经济高质量发展水平。生态环境和经济发展涉及到社会生产生活的方方面面，是两个包含多指标多时段复杂的系统，对于此类动态综合评价问题，显然普通的静态评价方法已无法满足评价需求，因此本文选用纵横向拉开档次法，引入基于时间特征的权重，计算九省区各年份的生态保护水平和经济高质量发展水平，为后文分析协同发展指数及协同发展影响因素提供数据参考。

最后，影响因素方面综合考虑生态保护中压力、状态、响应和经济高质量发展中创新、协调、绿色、开放、共享等因素对协同发展指数的影响效应。本文从多视角多维度展开对影响因素的分析研究，从生态保护体系中的压力、状态、响应指数和经济高质量发展体系中的创新、协调、绿色、开放、共享指数八个维度探讨其影响协同发展的内在理论和空间效应，为实现黄河流域生态和经济两大系统协同发展提供新的思路。

## 2 相关理论基础

本章基于前文文献的研究,分别介绍黄河流域九省区生态环境保护和经济高质量发展概念和运行机制,并具体分析了协同性理论、可持续发展理论和绿色经济理论,为后文进一步的研究奠定理论基础。

### 2.1 生态保护

生态环境保护系统涉及人类生产活动的方方面面,因此要谈生态环境就不能单论生态脆弱性,而应该挖掘其深层次的运行机理。一方面,经济的发展需要利用生态的资源,将资源数量的多少作为提升经济速率的手段,经济发展速度越快,资源消耗越多,生态逐渐恶化;另一方面,经济的工业生产活动过程中必然会释放有毒有害物质,经济速率发展越快将导致污染排放越严重,生态活力逐渐减弱,承载力逐渐降低,一些自然灾害开始频发对人类的生产生活造成影响,形成恶性循环。因此人类开始采取措施从资源开采和污染物排放方面降低对生态造成的压力,修复生态系统逐步改善生态系统的功能。

生态环境保护系统可以从压力、状态和响应三个方面进行衡量。压力是指人类活动对生态环境施加的压力,人类对环境施加的压力主要表现在对环境的污染、对自然资源的过度开发和引起景观结构和生态系统功能变化的人类生产活动。状态是指在面对人类施加的环境压力下,生态系统呈现来的物质资源的数量和质量,反映的是受人类活动压力影响的环境资源要素的状态。响应是指人类在面临大自然的危害人类的状况时作出的反映,一般表现为资金、技术、人员等的投入力度和实施力度。

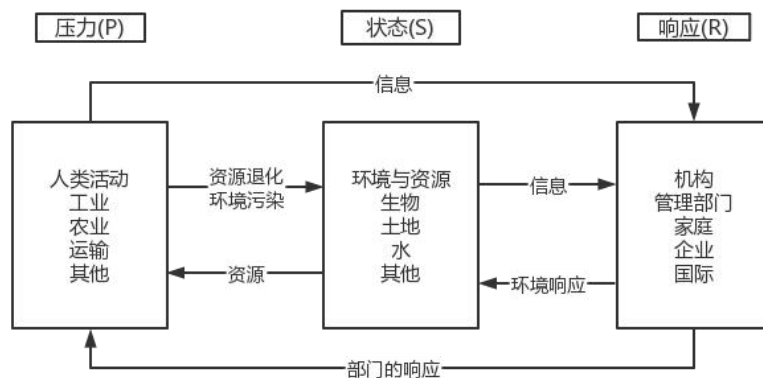


图 2.1 压力—状态—响应 (PSR) 框架模型

本文利用 PSR 模型构建生态系统指标体系，压力、状态和响应相互影响、制衡，共同构建生态环境压力、生态环境状态性能、生态环境修复支持体系，共同构成人与自然循环体系。因此，本文认为利用 PSR 模型构建生态环境保护指标体系，研究指标之间的相互因果关系是非常合理的。

## 2.2 经济高质量发展

党的十九大报告指出，新时代我国经济发展的基本特征是我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段，其内在的本质要求是注重经济发展质量的提升，高质量发展意味着经济社会的稳步发展、生态环境的绿色发展以及人民的幸福发展。黄河流域经济高质量发展根本目标在于解决经济发展过程中的不平衡不充分问题，这表明流域发展必须协调好资源利用、社会生活和经济发展之间的内在关系，实现黄河流域经济高质量发展的可持续性，同时要将黄河流域内部个体省区和流域整体相结合，既要区别流域内省级之间的发展差异性，又要整体统筹流域整体发展的平衡性。其内涵基于可持续发展的基本理念，从创新、协调、绿色、开放、共享五个维度具体分析。

创新是实现经济高质量发展的驱动力，是提升高效率发展的重要手段。随着全球化趋势的逐渐演变，面对新一轮科技革命，掌握科技创新才能掌握经济发展命脉，因此必须加强创新发展对实现经济高质量发展的引领作用，必须坚持高效率投入和产出，实现新旧动能转换，提升国家综合实力。

协调是实现经济高质量发展的基础保障，是缩小贫富差距的重要途径，也是促进产业转型发展的重要一环。协调发展不仅体现在经济发展的差距不断减小，也体现在产业结构发展的平衡性，实现协调发展才能真正解决社会贫富两极化矛盾，实现产业链发展的系统互补性，形成良好的循环演化系统，促进共同富裕。

绿色是实现经济高质量发展的重点任务，也是实现产业转型的重要目标。经济高质量发展意味着经济发展的同时也能改善资源环境状况，绿色发展的核心是在于实现人与自然和谐发展，摒弃“先污染后治理”的旧工业化发展模式，融合“绿水青山就是金山银山”的绿色生态财富，将生态效益与社会经济效益相结合。

开放是实现经济高质量发展的制胜法宝，是促进国际经济交流的主要途径，也是加强文化繁荣发展的必要条件。开放发展不仅意味着经济的贸易往来，而且

更重要的一环是促进文化交流，在加强自身经济实力的同时提升文化软实力，增强国际文化影响力，提升国家综合发展能力。

共享是实现经济高质量发展的目标归宿，是全民基本保障的共享，也是全民基础设施的共享。实现共享才能真正实现改善民生条件，促进民生发展，将国家经济增长落实到每一位居民，使得全民共享，将以人民为中心的理念落到实处，促进区域和谐稳定发展，实现经济高质量发展。

## 2.3 协同性理论

协同最早起源于希腊文，即为“协同合作”之意，是由德国物理学家哈肯在 20 世纪 70 年代首次提出。物理学中的协同本意是指各种复杂综合系统是由不同性质的子系统所构成的，这些子系统从空间、时间等结构方面的相互作用，产生的以自组织形式出现的结构和自组织结构形成的一般原理。

协同性理论的内容主要包括协同效应、支配原理和自组织原理。协同效应是指在一个复杂开放的综合系统中，子系统之间的相互作用关系将导致整个综合系统产生影响效应；支配原理是指以综合复杂系统下的子系统之间的关联为基础，子系统之间相互作用使得整个系统产生相应的有序结构，同时子系统之间的相互合作和相互竞争关系直接决定着整个系统的结构；自组织原理是指本来处于混沌状态的复杂系统，在没有外力的条件下，子系统之间根据某种规则相互作用最终使得整个系统从不平衡状态恢复到平衡状态。总体来说，协同性理论描述的的是一个系统从混沌状态逐渐转变为有序平衡状态的过程。

协同性理论将物理学中的概念泛化，将系统的特性转变为共性，为不同学科之间搭建桥梁，具有非常强的方法论指导。本文利用协同性理论探讨黄河流域这个开放复杂的综合系统中生态环境子系统 and 经济高质量发展子系统之间的关系，具体体现为两个方面：一方面，将黄河流域整体作为一个综合开放系统，若系统内部一直处于无序发展状态，其生态环境状况和经济高质量发展状况均处于无序状态，将导致经济发展不协调，产业发展落后，生态环境持续恶化等问题。由于系统内部的相互作用关系可以将系统整体呈现有序的状态，因此必须根据黄河流域生态环境保护和经济高质量发展的相互作用关系，实现黄河流域生态和经济平衡有序发展，将生态保护和经济发展由分散转变为协同发展的合理，促进全流域

共同发展。另一方面，黄河流域生态环境保护和经济高质量协同发展要符合自组织过程，首先必须强调生态系统和经济系统是两个开放的系统，需要不断与系统外部进行物质交换活动；其次，要将系统转变为有序状态必须整理好两个系统之间的相互作用关系，既要通过获取生态资源物质提升经济发展质量，又要通过经济手段促进生态环境的保护，维持二者相互作用关系的平衡性和持续性。因此必须加强黄河流域九省区整体规划和宏观调控，促进流域内生态环境保护和经济高质量协同发展，促进黄河流域生态经济协同系统“自组织”的形成和良好运行。

## 2.4 可持续发展理论

可持续概念的发展可以分为三个时期，第一个时期是在 1972 年以前，由于人类生产活动造成自然资源稀缺，生态环境限制将导致经济增速放缓，自然环境的恶化逐步引起人类的关注，一些文学作品和政策法规的发表进一步为可持续发展提供了理论依据；第二个时期是 1972—1987 年，工业化的发展对环境造成严重损害，同时人类对于生态环境水平的要求逐步提升，于是人类开始转变思想观念，将环境保护和管理重视起来，此时可持续发展这一理念正式以书面形式发表，并将其定义为“既要满足当代人的需求，又不能损害后代人满足自身需求的能力”；第三个时期是 1987 年以后，可持续发展理念的内涵和定义被广泛讨论，其概念被进一步完善，可持续发展理念与行动指南开始被世界各国普遍接受。

我国自改革开放以来，经济的快速发展导致我国面临着环境污染、生态恶化、资源短缺等问题，随着经济高质量发展这一战略性政策的实施与发展，我国逐步找到一条适合自身发展壮大的可持续发展道路。黄河流域的发展更是将生态保护和经济高质量发展作为其首要目标，保持黄河流域生态环境保护和经济高质量发展的稳定性和平衡性，促进流域内部地区更加合理的发展，这与“可持续发展、协调度、持续度”的思想相契合。

本文从经济和生态可持续发展两个角度探讨黄河流域生态环境和经济的相互作用关系。维持经济高质量发展的持续性和稳定性是可持续发展理念的核心内容，黄河流域部分区域面临着经济发展落后、产业结构不协调和生态恶化的多重压力，其经济增长方式主要依靠资源环境，经济发展的落后意味着生态环境的恶化，而生态破坏的不断加剧又意味着经济发展速度缓慢、质量不高，因此黄河流

域部分区域必须将经济发展放在首要位置，提升经济发展质量。生态资源环境问题也是可持续发展的中心问题，黄河流域上中游地区以“高能耗、高污染”的生产方式追求经济效益，但是这种长期不合理的生产方式若超出其生态环境承载力终将导致经济发展速度减缓，因此黄河流域省区应加快产业转型，提高资源利用率，用清洁能源代替一次能源的消耗。可持续发展理念代表提升经济增长质量不能以牺牲资源环境为代价，同时保护生态环境也不能不顾及经济的发展，因此经济增长和生态环境应通过调节和控制达到协调发展，实现提升经济增长质量的同时可以改善生态环境。

## 2.5 绿色经济理论

绿色经济这一概念的提出最早发生在 20 世纪 80 年代末，通过《绿色经济蓝图》将绿色经济的内涵展示给大众，将其定义为平衡式的经济，绿色经济的前提是保护和改善生态环境，然而这并没有引起大众的关注。到 2008 年全球经济危机产生的金融次贷危机后，生态环境的恶化已经触碰到生态承载力的红线，由此引发一系列地震海啸、极端气候等自然灾害问题，人类逐步意识到工业化发展给生态环境造成影响，绿色经济这一概念开始得到广泛关注。直到 2012 年“里约+20”会议赋予了绿色经济新的内涵，即应将经济和社会问题考虑到生态治理体系范围内，受到了学者的广泛关注。2016 年《巴黎协定》的签署和 2017 年波恩会议重点阐述了绿色经济和社会属性，进一步明确了生态、经济和社会的演变，为探索相互作用机制和协调推广奠定了基础。

绿色经济理论字面含义指经济的盈利行为应与生态环境和生态健康有密切联系，在经济发展和生态环境保护两大系统的相互碰撞中，系统可以同时实现产生经济效益的同时产生生态效益。绿色经济理论主要包含两方面的内容：一方面要讲究经济发展的过程要保持绿色的持续性和平稳性，这意味着任何以经济行为为基础的工业活动均不能以消耗资源、破坏生态环境为代价进行生产，都必须在保护生态健康安全的基础上进行经济活动，这有利于促进经济高效率发展同时保护生态安全。因此，绿色经济的合理运行不能局限于某个经济主体或者产业活动，而应该转变经济发展模式，实现经济可持续发展。从这个方面来讲，强调的是经济要保持绿色性和环保性，这要求人类在生产生活中应将保护生态放到首要位置。

另一方面要讲究绿色发展的过程中要注重经济效益，这意味着从环境保护的活动中获取经济效益，将生态效益转变为经济效益，实现“从绿掘金”，同时在注重生态环境保护的过程中不能不顾经济发展的效益，依旧要以经济效应为重心。这两方面彼此相互契合构成绿色经济理论，生态和经济的相互作用相互转化，最终目的是维持实现经济增长和生态美丽的平衡发展。

绿色经济理论要求生态环境和经济增长要达到平衡，既要将生态健康作为经济增长的前提，又要将经济发展作为保持生态健康持续发展的动力。黄河流域长期粗放型的发展对环境造成了严重的污染和破坏，按照绿色经济发展理念，黄河流域亟需实现产业升级和转型，改变高耗能高污染的经济增长方式，改善生态资源环境的基础上将其进一步转化为经济效益，实现循环永续发展。绿色经济理论为生态和经济两系统的协同发展提供了最新的理论机制，是破解黄河流域经济和生态难题的必然选择。

综上所述，协同性理论是生态和经济两个系统从无序到平衡的过程，可持续发展理论是维持两个系统平衡性、持久性和稳定性的过程，绿色经济理论是将生态和经济两大系统相互融合相互制约的过程，三大理论机制从多个方面验证了生态和经济的相互作用关系，并且为二者的协同性发展提供了理论基础和依据。



### 3 沿黄九省区生态保护与经济高质量协同发展测度

本章基于黄河流域生态环境保护和经济高质量发展内涵界定和理论基础研究，分别构建黄河流域九省区生态环境保护和经济高质量发展的评价指标体系，运用纵横向拉开档次法分别对生态保护水平和经济高质量发展水平测度，并采用耦合协调度模型对沿黄九省区生态保护和经济高质量发展协同度进行科学预测，从整体和省际视角分析二者协同发展的时空演变特征。

#### 3.1 评价指标体系的构建

##### 3.1.1 生态保护评价指标体系

“压力—状态—响应”模型是环境治理评价中最常用的一种评价模型，本文借鉴张欢等<sup>[35,43,66]</sup>的研究，结合生态环境压力指数法（ESI）和“压力—状态—响应”（PSR）模型，构建沿黄九省区生态保护评价指标体系。

压力系统可以反映沿黄九省区由于生产生活给生态环境造成的影响，黄河流域九省区产业活动仍然处于高消耗状态，水生态环境脆弱，较高的能源消耗和水资源消耗将会给黄河流域会增加生态环境的压力；同时其产业发展的高污染性将对生态环境造成很大影响，主要表现为废水、废气和废物的污染。

状态系统可以反映沿黄九省区不同时期不同阶段的生态环境状况，黄河流域生态环境状态主要表现在其本身的较高的资源储量和较少的自然灾害损害。黄河流域森林资源、水资源和耕地资源是衡量黄河流域资源储量的主要方面，其中森林覆盖率是刻画森林资源的主要指标，人均耕地面积揭示了当前耕地资源的量，人均水资源量是衡量水资源总量和质量的指标。黄河流域生态环境状态主要表现为土壤质量和自然灾害发生情况，黄河流域是我国粮食生产的主要区域，应进一步推进化肥减量化施用以保证耕地安全提升土壤质量，同时根据发生地质灾害次数判断自然灾害发生情况，了解黄河流域生态环境状态。

响应可以反映沿黄九省区对生态环境的保护和治理情况，黄河流域生态保护响应系统主要表现为环境治理和自然资源保护，这也是生态保护发展的重要举措。生态环境治理主要根据工业生活施加给环境的压力针对性进行治理，工业方面主

要表现为工业固体废物综合利用情况和污水处理情况,生活方面表现为生活垃圾无害化处理情况。自然保护主要从森林、绿地和水土方面展开治理,具体表现为增加自然保护区面积、提升当年人工造林面积、扩大水土流失治理面积。

根据上述压力、状态和响应系统分析的基础上,本文基于黄河流域特点针对性构建压力系统下的资源消耗和环境代价子系统,状态系统下的资源储量和生态环境子系统,响应系统下的环境治理和自然保护子系统,将选取的 17 个指标构成沿黄九省区生态保护评价指标体系,具体如表 3.1 所示。

表 3.1 生态保护评价指标体系

目标层	准则层	次准则层	要素层	指标属性
压力	资源消耗	电力消耗	电力消费量	负向
		水资源消耗	人均用水量	负向
		能源消耗	一次能源消费总量	负向
	环境代价	废水排放	工业废水排放量	负向
		废气排放	工业二氧化硫排放量	负向
		废物排放	工业固体废弃物产生量	负向
资源储量		森林资源	森林覆盖率	正向
状态	资源储量	耕地资源	人均耕地面积	正向
		水资源	人均水资源量	正向
		生态环境	土壤质量	农用化肥施用折纯量
	生态环境	自然灾害	发生地质灾害次数	负向
		环境治理	废物利用	工业固体废物综合利用率
响应	环境治理	污水处理	污水处理厂集中处理率	正向
		垃圾处理	城市生活垃圾无害化处理率	正向
		自然保护	自然保护	自然保护区面积
	自然保护	人工造林	当年人工造林面积	正向
		水土治理	水土流失治理面积	正向

### 3.1.2 经济高质量发展评价指标体系

黄河流域省区跨越西部、中部和东部,其经济社会发展占据非常重要的地位,且由于跟省区内部特殊的地理位置和自然资源禀赋,必须将政治、经济、文化、社会和生态“五位一体”全面统筹提升经济发展质量,这与新发展理念内涵相一致,因此本文从从创新、协调、绿色、开放、共享五个方面构建指标体系<sup>[47]</sup>,

创新是实现经济高质量发展的驱动力,高水平科技是提高生产力的内在动力,创新水平的提升表现为创新投入和创新产出的同比增加。创新投入意味着有较多的科研人员的加入和科研经费的投入,不仅涉及基础教育也涉及高新技术产业,

因此利用高校在校人数和 R&D 人员数衡量科研人员的数量，利用地方财政教育支出和 R&D 投入衡量科研经费的投入。创新产出主要表现为技术、专利和论文方面的产出，创新产出成果有助于提升生产效率，进而直接提升经济发展效率，因此将专利授权、技术市场、专利产出和论文产出作为衡量创新产出的主要指标。

协调是保持经济稳步增长的前提，协调主要解决的是黄河流域发展不平衡的问题，黄河流域发展的不平衡性表现为区域内部和区域间产业发展和经济结构发展的不平衡，因此通过城乡可支配收入比和城镇化率反映区域内部经济发展的协调情况，产业结构高级化反映经济结构的服务化倾向和国民收入比例的变动过程，泰尔指数反映区域间的收入差距和不平衡性。

绿色是现阶段黄河流域经济高质量发展的重点任务，由于黄河流域部分区域依旧以粗放式的生产方式为主，所以黄河流域经济高质量发展要实现在绿色中发展和在发展中绿色，因此要注重工业发展中资源消耗和工业废弃物的产出，同时还需要加强环境治理，注重工业造成的环境污染问题 and 环境治理投资。

开放是促进黄河流域九省区互利共赢的有效途径，是实现经济高质量发展的必由之路。一方面需要促进黄河流域各省区对外经济交流，通过利用外资水平和对外贸易衡量经济发达程度；另一方面促进各省区国内外文化交流，通过文化产业人员数和国内国际旅游人数衡量文化繁荣程度。

共享是经济发展的战略目标和最终归宿，经济高质量发展的最终目标是发展生产力解决不平衡不充分问题，最终实现人民对美好生活的向往，因此共享意味着要实现大部分的基本保障和大规模的基础设施建设，基本保障可以通过失业保障、保险支出和参保人员衡量，基础设施可以通过教育水平、公共交通、城市卫生和医疗水平衡量。

根据上述基于五大发展理念的创新、协调、绿色、开放、共享五大维度的分析，本文基于黄河流域高质量发展的理论特征和国家战略的实践需求，本文构建创新系统下的投入和产出子系统，协调系统下的城乡结构和产业结构子系统，绿色系统下的资源环境和治理投资子系统，开放系统下的对外开放和文化繁荣子系统，共享系统下的基本保障和基础设施子系统，将选取的 35 个指标构成沿黄九省区经济高质量发展评价指标体系，具体如表 3.2 所示：

表 3.2 经济高质量发展评价指标体系

目标层	准则层	次准则层	指标层	属性
创新	创新投入	高校学生数	每十万人高校在校人数	正向
		教育投入	地方财政教育支出	正向
		研发投入	R&D 投入	正向
	创新产出	研发人员	R&D 人员数	正向
		专利授权	每万人专利发明授权量	正向
		技术市场	技术市场成交额	正向
		专利产出	高技术产业专利申请数	正向
	论文产出	高等学校发表科技论文	正向	
协调	城乡结构	城乡协调	城乡居民可支配收入之比	负向
		城镇化进程	常住人口城镇化率	正向
	产业结构	产业结构高级化	第三产业增加值/第二产业增加值	正向
		产业结构合理化	泰尔指数	负向
绿色	资源环境	能源消耗	单位 GDP 能耗	负向
		电力消耗	单位 GDP 全社会用电量	负向
		水资源消耗	单位 GDP 全年供水总量	负向
		废水排放	单位 GDP 工业部废水排放量	负向
	治理投资	废气排放	单位 GDP 二氧化硫排放量	负向
		废气治理	工业治理废气项目完成额/GDP	正向
		废水治理	工业治理废水项目完成额/GDP	正向
		污染治理投资	环境污染治理投资/GDP	正向
	环境基础设施	环境污染设施建设投资/GDP	正向	
开放	对外开放	对外贸易	对外贸易依存度	正向
		利用外资	外商直接投资/GDP	正向
		对外投资	对外直接投资/GDP	正向
	文化繁荣	文化人员	文化及相关产业从业人员数	正向
		文化产业	文化产业增加值占比	正向
		国内旅游	国内外游客接待数	正向
		国际旅游	国际旅游外汇收入	正向
共享	基本保障	失业水平	城镇登记失业率	负向
		保险支出	城乡居民社会养老保险基金支出	正向
		参保人员	城乡居民社会养老保险参保人数	正向
	基础设施	教育水平	人均拥有公共图书馆藏量	正向
		公共交通	每万人拥有公共交通工具	正向
		城市卫生	每万人拥有公共厕所	正向
		医疗水平	每万人口医疗机构床位数	正向

## 3.2 生态保护与经济高质量发展水平测度

### 3.2.1 测度方法介绍

纵横向拉开法是一种动态综合评价方法,对于具有时间和空间特征的数据来说,纵横向拉开档次法从时间横向和空间纵向分别测算评价对象之间的差异性,进而将时空维度相结合确定权重,避免因权重的主观和时间因素对评价结果造成影响。本文运用纵横向拉开档次法对黄河流域九个省区十年的生态保护水平和经济高质量发展水平测度,综合动态评价其发展水平<sup>[36]</sup>。其原理如下所示:

假设有  $i$  个省区 ( $i=1,2,\dots,n$ ), 有  $j$  个评价指标 ( $j=1,2,\dots,m$ ), 且按照时间顺序  $k(k=1,2,\dots,T)$  获得的原始时间序列面板数据  $\{x_{ij}(t_k)\}$ , 对原始面板数据进行无量纲化处理得到  $x_{ij}^*(t_k)$ 。根据面板数据经线性加权后得到综合评价函数:

$$y_i(t_k) = \sum_{j=1}^m w_j x_{ij}^*(t_k) (k=1,2,\dots,T; i=1,2,\dots,n) \quad (3.1)$$

其中  $w_j$  为第  $j$  项指标的权重, 分别利用纵向、横向拉开档次法计算被评价对象指标体系的差异性:

$$\sigma^2 = \sum_{k=1}^T \sum_{i=1}^n (y_i(t_k) - \bar{y})^2 \quad (3.2)$$

由于原始数据经标准化处理, 所以:

$$\bar{y} = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^T \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_j x_{ij}^*(t_k) \right] = 0 \quad (3.3)$$

$$\sigma^2 = \sum_{k=1}^T \sum_{i=1}^n (y_i(t_k))^2 = W^T \sum_{k=1}^T (X_k^T X_k) W \quad (3.4)$$

其中,  $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$ ,  $X_k$  为  $n \times m$  阶矩阵,  $H = \sum_{k=1}^T (X_k^T X_k)$  为  $m \times m$  阶矩阵。由此, 将综合评价函数转化为非线性规划问题:

$$\begin{aligned} & \max W^T H W \\ & s.t. \begin{cases} W^T W = 1 \\ W > 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (3.5)$$

当  $W$  取矩阵  $H$  最大特征值的特征向量时,  $\sigma^2$  取最大值<sup>[54]</sup>。利用“薄古厚今”的思想, 关注研究对象所展现的时间特征, 并对其赋予权重, 这种赋权的方式具体表现为越靠近当前年限越重要, 其指标对评价结果的影响就越大, 反之越小。

具体来说, 纵横向拉开档次法确定权重的具体步骤如下:

步骤一: 数据标准化处理

对数据进行无量纲化处理, 本文极值处理法对原始数据标准化处理, 将每个指标数据转化到  $[0,1]$  的区间内, 分别对正向指标和负向指标进行归一化处理:

正向指标:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij}^* - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (3.6)$$

负向指标:

$$x_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}^*}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (3.7)$$

其中  $x_{ij}^* (i=1,2,\dots,9; j=1,2,\dots,m)$  为指标  $i$  的值,  $\max(x_{ij})$  为指标的最大值,  $\min(x_{ij})$  为指标的最小值。

步骤二: 依据纵横向拉开档次法原理, 将标准化数据整理形成矩阵  $X_k$ :

$$X_k = \begin{pmatrix} x_{11}(t_k) & x_{12}(t_k) & \cdots & x_{1m}(t_k) \\ x_{21}(t_k) & x_{22}(t_k) & \cdots & x_{2m}(t_k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}(t_k) & x_{n2}(t_k) & \cdots & x_{n3}(t_k) \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

步骤三: 确定初始权重  $\omega_{it}$ 。计算对称矩阵  $H = \sum_{k=1}^T (X_k^T X_k)$  的最大特征值对应的特征向量, 由于  $H$  矩阵为正定矩阵, 因此其特征值均为正且其对应的特征向量也为正值, 满足条件  $\omega_{it} > 0$ 。

步骤四: 加入时间因素确定权重  $\omega_j$ 。利用“薄古厚今”的思想, 参考郭亚军等人<sup>[36]</sup>的研究, 最终确定  $\omega_j$  满足以下公式, 即:

$$\omega_j = e^{\lambda t} \omega_{it} \quad (3.9)$$

$$\lambda = \frac{1}{2N} (t=1,2,\dots,10; N=10) \quad (3.10)$$

步骤五：归一化权重系数  $\omega_j$ 。由于  $\omega_i$  为矩阵  $H$  最大特征值对应的特征向量，且  $\omega_i$  经加入时间因素后需满足权重  $\omega^T \omega = 1$  的条件，因此需将  $\omega_j$  进行归一化处理，得到最终的权重系数  $\omega_j^*$ ，且满足  $\sum_{j=1}^m \omega_j^* = 1$ 。

步骤六：线性加权求综合得分。依据公式求取生态保护和经济高质量发展综合得分。

$$y_i(t_k) = \sum_{j=1}^m \omega_j^* x_{ij}^*(t_k) (i=1,2,\dots,9; j=1,2,\dots,m; k=1,2,\dots,10) \quad (3.11)$$

### 3.2.2 沿黄九省区生态保护水平测度

本文根据纵横向拉开档次法确定黄河流域九省区生态保护 17 个指标的权重，经过加权综合最终确定黄河流域九省区 2012—2021 年生态环境保护综合评价指数，结果如下表 3.3 所示：

表 3.3 2012—2021 年沿黄九省区生态保护综合指数

年份 省区	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
青海	0.686	0.660	0.643	0.636	0.678	0.619	0.597	0.664	0.635	0.628
四川	0.508	0.550	0.516	0.578	0.608	0.568	0.569	0.507	0.527	0.557
甘肃	0.607	0.505	0.631	0.653	0.670	0.734	0.689	0.805	0.724	0.748
宁夏	0.607	0.661	0.654	0.631	0.655	0.663	0.660	0.685	0.697	0.710
内蒙	0.639	0.659	0.646	0.650	0.630	0.607	0.635	0.630	0.589	0.565
陕西	0.705	0.719	0.749	0.758	0.757	0.613	0.672	0.701	0.725	0.708
山西	0.618	0.621	0.634	0.651	0.620	0.535	0.638	0.654	0.673	0.627
河南	0.588	0.533	0.550	0.562	0.570	0.616	0.634	0.653	0.659	0.595
山东	0.502	0.518	0.528	0.516	0.487	0.478	0.500	0.518	0.520	0.515

黄河流域九省区 2012—2021 年生态环境保护综合指数如表 3.3 所示，可以发现，黄河流域九省区生态保护综合指数基本集中在 0.5—0.8 之间，整体上呈现增长趋势，但是增长幅度变化较小，这说明黄河流域生态环境保护状况不容乐观。从黄河上游来看，西北三省生态环境状况良好，青海、甘肃和宁夏三省区 2012—2021 年生态保护平均综合指数分别为 0.645、0.677、0.662，在九省区中排名

靠前；而四川省十年间生态保护平均综合指数为 0.548，排名第八。从黄河中游来看，生态环境状况差距较大，其中陕西省生态环境状况良好，平均综合指数为 0.711，排名第一，而内蒙古和山西两省区生态环境状况较差，平均综合指数分别为 0.625、0.627，排名相对靠后。从黄河下游来看，下游地区生态环境状况均较差，河南和山东两省平均综合指数分别为 0.596、0.508，排名倒数。

黄河流域 2012—2021 年生态保护综合指数均值趋势如图 3.1 所示，从系统整体来看，黄河流域生态保护水平呈现波动略微上升的趋势，年均增长率呈“W”型波动趋势。大致可以将其分为三个阶段，首先第一阶段为 2013—2016 年，黄河流域生态保护指数呈现年均增长率递减式增加期，这个阶段黄河流域生态保护水平呈现递增趋势，但增速缓慢，这个时期人们开始意识到黄河流域地区粗放型的经济发展模式给资源环境造成了极大危害；第二阶段为 2017—2019 年，黄河流域生态保护指数呈现年均增长率递增式增加期，这个阶段黄河流域生态保护水平呈现递增趋势且增速较快，这个时期国家开始逐步出台流域综合治理建设规划，合理利用资源保护生态环境；第三阶段为 2019 年以后，生态保护指数呈现降低趋势，这个时期国家将黄河流域生态环境与经济发展两手抓，实现协同发展。

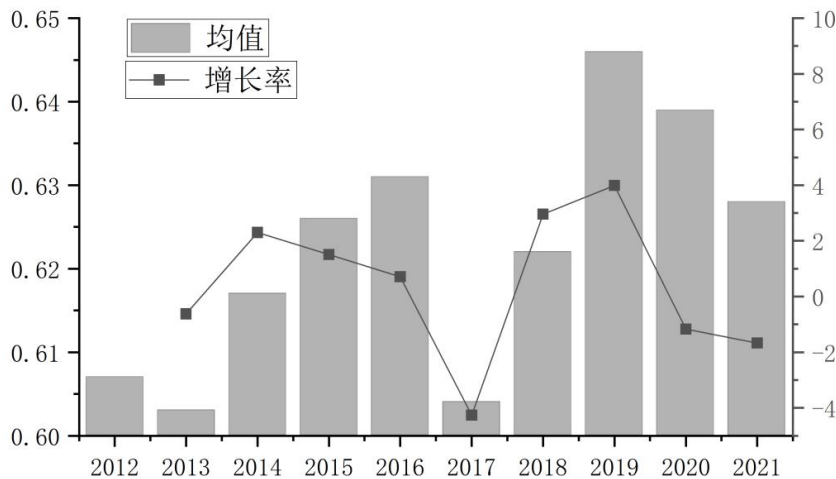


图 3.1 2012—2021 年黄河流域生态保护综合指数平均值及年增长率

黄河流域不同区域生态环境保护发展水平如图 3.2 所示，从区域的整体水平来看，黄河流域生态保护水平区域间的不平衡性相对突出，其中上游地区生态保护水平除 2017 年外均高于流域整体水平；中游地区生态保护水平 2016 年以前略低于流域整体均值水平，但在 2016 年以后均高于流域整体均值水平，并且在 2017 年、2019 年和 2021 年高于中游地区水平；下游地区在研究期十年期间生态保护



水平均低于流域整体平均水平。

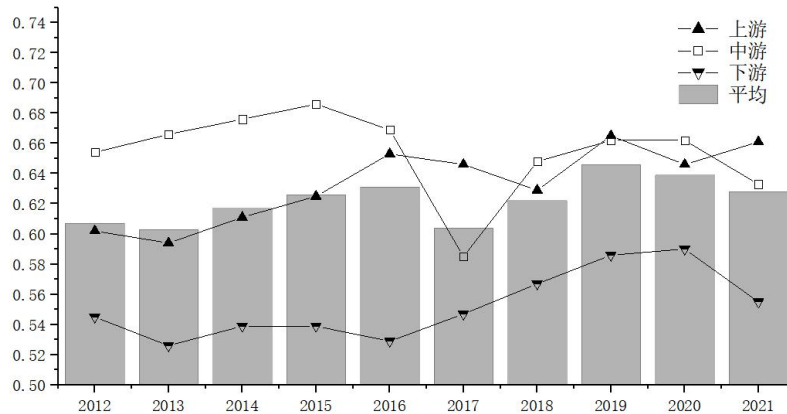


图 3.2 2012—2021 年分区域生态保护综合指数发展趋势

黄河流域生态保护综合指数各维度指数变化趋势如图 3.3 所示，黄河流域“压力—状态—响应”三个维度的综合指数变化不一。从压力维度看，黄河流域社会生产活动导致的资源消耗和污染排放对生态造成的压力呈上涨趋势，年均增长率为 0.25%，这意味这黄河流域省区的生产活动还依赖于资源的获取，同时这种经济增长方式也造成污染物的大量排放，生态承载问题较为突出。从状态维度看，黄河流域资源环境和生态环境状况有下降趋势，年均下降 2.91%，这说明黄河流域九省区生态状态较差，并没有得到较大改善。从响应维度看，黄河流域生态生态修复和环境治理得到有效开展，响应程度不断提升，年均增幅为 3.26%，这意味着黄河流域生态修复和环境治理取得初步成果。

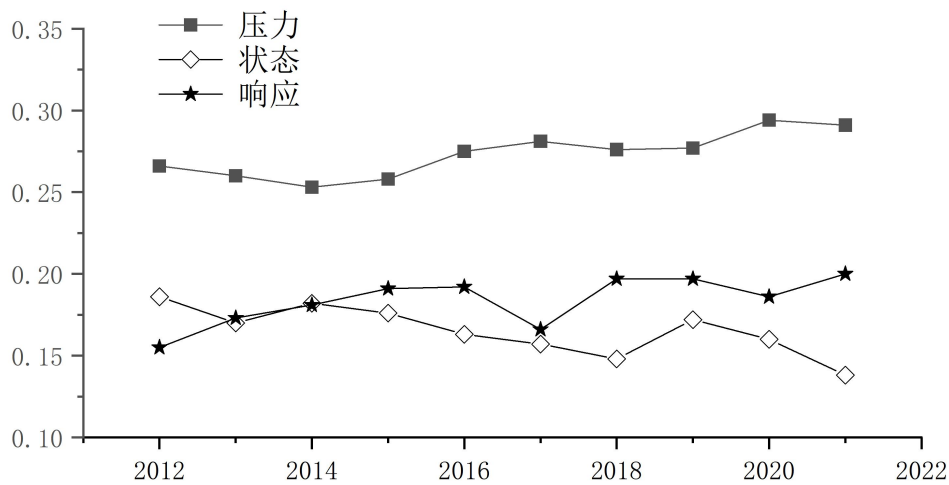


图 3.3 黄河流域生态保护综合指数各维度趋势图

### 3.2.3 沿黄九省区经济高质量发展水平测度

本文通过纵横向拉开档次法确定经济高质量发展体系中 35 个指标的权重，经过加权综合最终确定黄河流域九省区经济高质量发展综合发展指数，本文根据黄河水利委员会公布的信息，按照河道流经区的自然环境和水文状况，将黄河流域分为上、中、下游，上游包括青海、四川、甘肃和宁夏四省区，中游包括内蒙古、陕西和山西三省区，下游包括河南和山东两省区。

表 3.4 2012—2021 年沿黄九省区经济高质量发展综合指数

年份 省区	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
青海	0.267	0.230	0.217	0.248	0.253	0.213	0.237	0.238	0.227	0.252
四川	0.613	0.625	0.617	0.613	0.607	0.601	0.633	0.635	0.604	0.584
甘肃	0.340	0.333	0.325	0.295	0.324	0.322	0.343	0.351	0.331	0.355
宁夏	0.279	0.280	0.269	0.291	0.286	0.305	0.311	0.297	0.309	0.313
内蒙	0.423	0.429	0.408	0.407	0.400	0.442	0.419	0.407	0.375	0.441
陕西	0.588	0.588	0.616	0.609	0.629	0.604	0.592	0.604	0.562	0.508
山西	0.489	0.439	0.404	0.404	0.416	0.422	0.470	0.501	0.445	0.452
河南	0.582	0.583	0.603	0.582	0.610	0.628	0.663	0.676	0.654	0.643
山东	0.798	0.784	0.783	0.777	0.773	0.781	0.800	0.775	0.796	0.804
平均	0.487	0.477	0.471	0.470	0.478	0.480	0.496	0.498	0.478	0.484

黄河流域九省区 2012—2021 年经济高质量发展综合指数如表 3.4 所示，可以发现，综合指数值大多集中在 0.2—0.8 之间，区域间呈现明显的发展不平衡状态。黄河流域上游地区中，各地区间经济高质量发展呈现较大的差异性，其中青海、甘肃和宁夏三省区经济高质量发展平均综合指数分别为 0.238、0.332、0.294，排名分别为第九、第七、第八；四川省经济高质量发展平均综合指数为 0.613。黄河流域中游地区中，各地区经济高质量发展差异较小，内蒙古、陕西和山西三省区经济高质量发展平均综合指数分别为 0.415、0.590、0.444，排名分别为第六、第四、第五。黄河流域上游地区中，山东和河南两省区经济高质量发展水平较好，其平均综合指数分别为 0.787、0.622，排名靠前。

黄河流域 2012—2021 年间经济高质量发展水平整体呈现平稳波动状态，九省区经济高质量发展水平变化不一。黄河流域上游地区中，青海和四川两省区经济高质量发展指数呈现下降趋势，年均增长率分别为-0.10%、-0.50%，甘肃和宁夏两省区经济高质量发展指数呈现上升趋势，年均增长率分别为 0.66%、1.37%。

黄河流域中游地区中，内蒙古经济高质量发展综合指数呈现上升趋势，年均增长 0.75%，山西和山西综合指数均呈现下降趋势，年均增长率分别为-1.51%、-0.60%。黄河流域下游地区中，河南和山东两省经济综合指数均呈现上升趋势，年均增长率分别为 1.16%、0.10%。

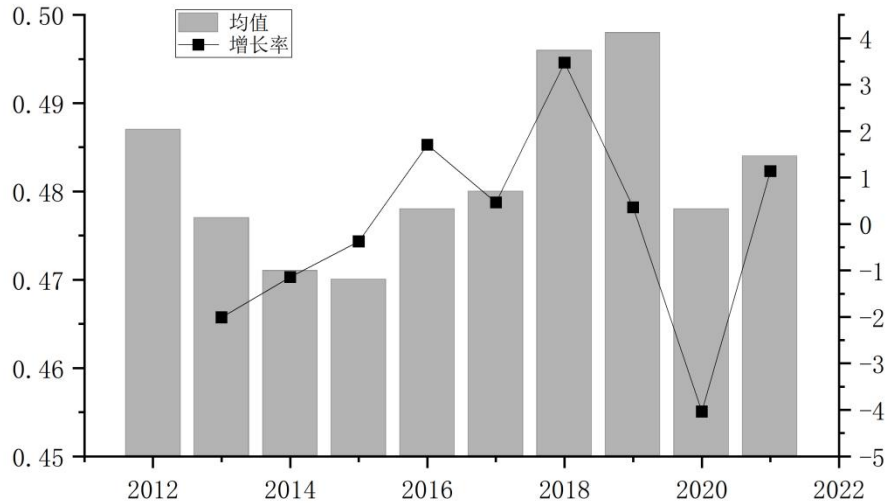


图 3.4 2012—2021 年黄河流域经济高质量发展综合指数平均值及年增长率

黄河流域 2012—2021 年经济高质量发展综合指数平均值及其年增长率如图 3.4 所示，从整体角度来看，黄河流域整体经济高质量发展综合指数呈现先降后升再降的趋势。因此，可以将此大致分为三个阶段，首先第一个阶段为 2012—2015 年，这一阶段黄河流域经济高质量发展水平呈下降趋势，由 2012 年 0.487 下降为 0.478，年均增长率呈逐年上升趋势，下降幅度较为缓慢；第二个阶段为 2015—2019 年，这一阶段黄河流域经济高质量发展水平呈上升趋势，增长率最高达 3.47%，年均增长率呈“N”型，发展不稳定；第三个阶段为 2019—2021 年，这一阶段呈现先下降后上升趋势，但是上升幅度较小，总体呈现下降趋势，其增长率变化呈现大幅下降小幅上升趋势。

黄河流域 2012—2021 年不同区域经济高质量发展水平如图 3.5 所示，从区域的整体水平来看，黄河流域上中下游发展及其不平衡，经济高质量发展水平依次为：下游、中游、上游。下游地区经济高质量发展综合水平远超中游和上游，其综合指数在 0.67—0.73 之间，是上游地区的两倍多；中游地区经济高质量发展综合指数在 0.45—0.50 之间，其综合指数在流域整体均值附近，2012—2017 年其综合指数大于流域整体均值，2018 年以后略小于流域整体均值水平；下游地

区经济高质量发展综合指数在 0.35—0.40 之间，其综合指数十年内均小于流域整体均值水平。

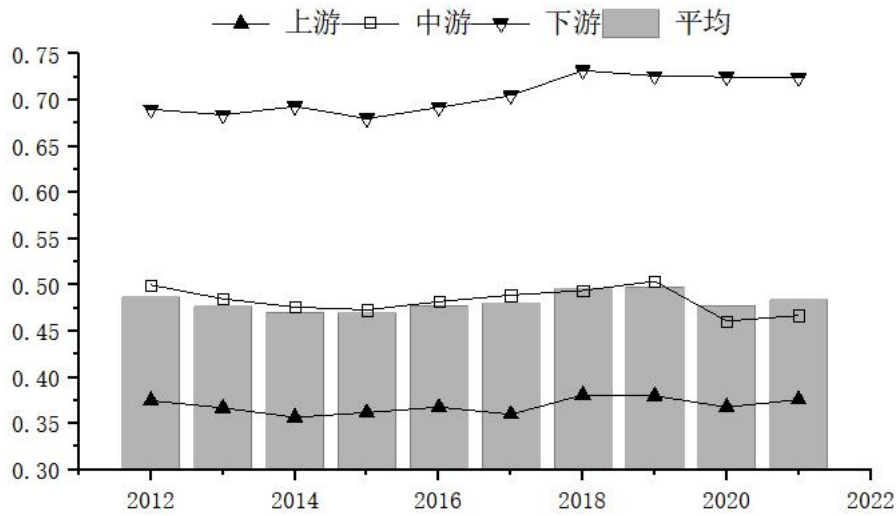


图 3.5 分区域经济高质量发展综合指数发展趋势

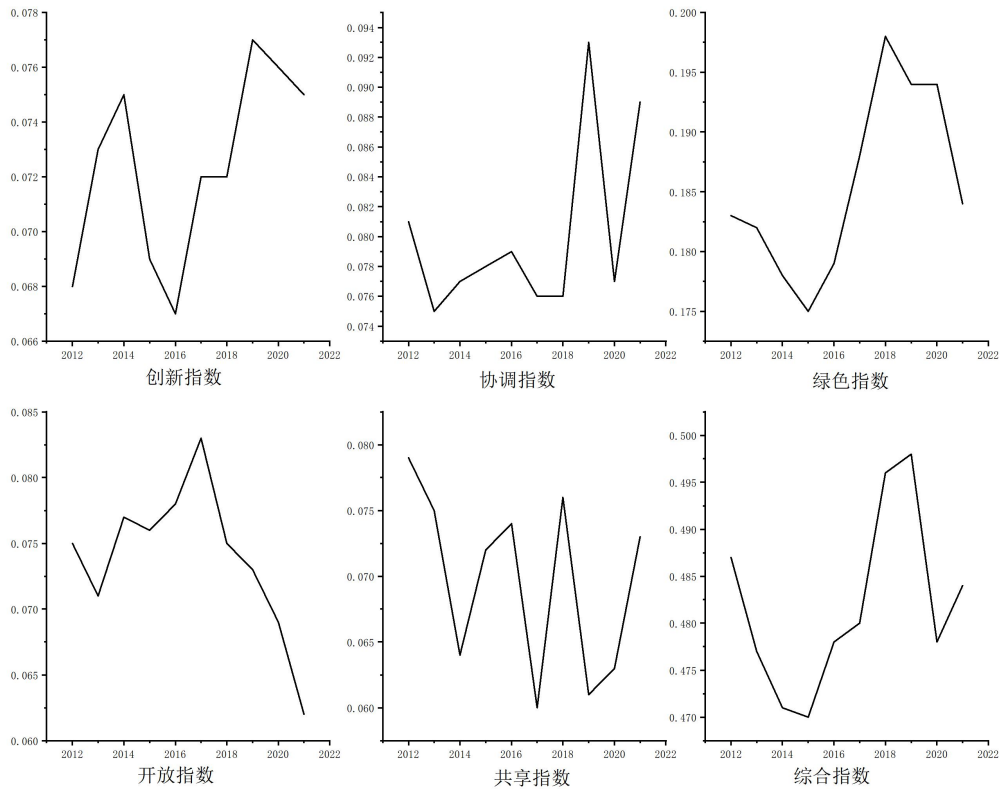


图 3.6 沿黄九省区经济高质量发展各维度趋势图

黄河流域经济高质量发展综合指数各维度指数变化趋势如图 3.6 所示，黄河流域经济高质量发展“创新—协调—绿色—开放—共享”五大维度时间趋势变化情况都不相同。从创新维度看，创新指数 2015—2016 年略有波动下降趋势，整

体呈现上升趋势，这意味着黄河流域九省区不断加大创新投入，注重科技创新，不断增加创新成果的产出。从协调维度看，协调指数呈“W”型增长，2012—2018年波动较小，2018年以后波动较大，这说明黄河流域城乡结构、产业结构的协调发展呈现不稳定上升趋势。从绿色维度看，黄河流域绿色发展水平呈“N”型增长趋势，与整体综合指数的发展趋势类似，表明黄河流域绿色发展是经济高质量发展的重要一环，黄河流域资源能源的消耗和治理投资还需进一步平衡。从开放维度看，开放指数呈现先增长后下降的趋势，受到国内国际政治文化因素的影响，黄河流域对外开放水平处于劣势。从共享维度看，黄河流域共享指数呈现大幅波动递减趋势，这意味着黄河流域基本保障和基础设施依然无法满足人民日益增长的需求。

### 3.3 生态保护与经济高质量发展的协同性测度

#### 3.3.1 耦合协调度评价模型

生态系统和经济系统是两个开放的系统，两系统之间相互影响相互制约，耦合协调度模型被用来衡量多个系统之间的相互作用关系和相互关联程度，运用耦合协调度测度两个系统之间的协同性是非常合理的，因此本文采用耦合协调度模型测度生态保护和经济高质量发展的协同性，具体计算公式如下：

$$C = 2 \frac{\sqrt{U_1 \times U_2}}{(U_1 + U_2)} \quad (3.12)$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 \quad (3.13)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (3.14)$$

式中， $U_1$ 表示生态保护综合指数， $U_2$ 表示经济高质量发展综合指数。 $C$ 表示生态保护和经济高质量发展的耦合度，其值在 $[0,1]$ 范围内，耦合度 $C$ 越大，表明二者的共振耦合程度越高。 $T$ 为二者的综合协调指数，本文借鉴王淑佳等<sup>[53]</sup>的做法，将待定系数 $\alpha$ 和 $\beta$ 设定为 $\alpha = \beta = 0.5$ 。 $D$ 表示耦合协调度，测度系统之间的协同性， $D$ 越高表示协同性越强，系统之间的关联程度也越高。根据耦合协

调度的判断标准,将耦合协调度划分为极度失调、严重失调、中度失调、轻度失调、濒临失调、勉强协调、初级协调、中级协调、良好协调和优质协调阶段,具体标准如表 3.5 所示:

表 3.5 生态保护和经济高质量发展耦合协调度判断标准

耦合协调度	耦合协调发展程度	耦合协调度	耦合协调发展程度
[0,0.1]	极度失调	(0.5,0.6]	勉强协调
(0.1,0.2]	严重失调	(0.6,0.7]	初级协调
(0.2,0.3]	中度失调	(0.7,0.8]	中级协调
(0.3,0.4]	轻度失调	(0.8,0.9]	良好协调
(0.4,0.5]	濒临失调	(0.9,1]	优质协调

根据黄河流域生态保护指数和经济高质量发展指数测度结果,为进一步促进黄河流域九省区生态保护和经济高质量发展,本文借鉴赵建吉等<sup>[71]</sup>的相对发展模型:

$\beta = \frac{U_1}{U_2}$ , 其中  $U_1$  表示生态保护综合指数,  $U_2$  表示经济高质量发展综合

指数。通过  $\beta$  的大小判断黄河流域生态与经济协调发展的阻碍因素,并将相对发展度划分为三种类型:若  $0 < \beta \leq 0.9$ ,则表示生态环境滞后经济发展;若  $0.9 < \beta \leq 1.1$ ,则表示二者同步发展;若  $\beta > 1.1$  则表示经济发展滞后于生态环境。

### 3.3.2 生态保护与经济高质量发展的协同性测度分析

本文通过构建生态保护和经济高质量发展指标体系测算得生态系统综合指数和经济系统综合指数,生态和经济两大子系统间的协同发展能够促进整个系统向有序方向推进,耦合协调度模型是反映生态与经济协同发展程度大小的度量模型。本文在测算生态保护和经济高质量发展两大系统水平基础上,运用耦合度模型和耦合协调度模型,得到黄河流域九省区 2012—2021 年生态保护和经济高质量发展耦合协调度,具体结果如表 3.6 所示:

表 3.6 沿黄九省区 2012—2021 年生态保护和经济高质量发展耦合协调度

省区	年份	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
青海	C	0.898	0.875	0.868	0.898	0.889	0.872	0.902	0.881	0.880	0.904
	T	0.477	0.445	0.430	0.442	0.466	0.416	0.417	0.451	0.431	0.440
	D	0.654	0.624	0.611	0.630	0.644	0.603	0.613	0.631	0.616	0.631
	程度	初级	初级	初级	初级	初级	初级	初级	初级	初级	初级

续表 3.6 沿黄九省区 2012—2021 年生态保护和经济高质量发展耦合协调度

四川	C	0.995	0.997	0.996	0.999	0.999	0.999	0.998	0.993	0.997	0.999
	T	0.561	0.588	0.567	0.596	0.608	0.585	0.601	0.571	0.566	0.571
	D	0.747	0.766	0.751	0.772	0.779	0.764	0.775	0.753	0.751	0.755
	程度	中级	中级	中级	中级	中级	中级	中级	中级	中级	中级
甘肃	C	0.959	0.978	0.947	0.925	0.937	0.920	0.942	0.919	0.928	0.934
	T	0.474	0.419	0.478	0.474	0.497	0.528	0.516	0.578	0.528	0.552
	D	0.674	0.640	0.673	0.662	0.683	0.697	0.697	0.729	0.700	0.718
	程度	初级	初级	初级	初级	初级	初级	初级	中级	中级	中级
宁夏	C	0.928	0.914	0.908	0.929	0.919	0.929	0.933	0.918	0.922	0.921
	T	0.443	0.471	0.462	0.461	0.471	0.484	0.486	0.491	0.503	0.512
	D	0.642	0.656	0.648	0.655	0.658	0.671	0.673	0.672	0.681	0.687
	程度	初级	初级	初级	初级	初级	初级	初级	初级	初级	初级
内蒙古	C	0.979	0.977	0.974	0.973	0.974	0.987	0.978	0.976	0.975	0.992
	T	0.531	0.544	0.527	0.529	0.515	0.525	0.527	0.519	0.482	0.503
	D	0.721	0.729	0.717	0.717	0.709	0.720	0.718	0.712	0.686	0.707
	程度	中级	中级	中级	中级	中级	中级	中级	中级	中级	中级
陕西	C	0.995	0.994	0.995	0.994	0.995	0.999	0.997	0.997	0.991	0.986
	T	0.647	0.654	0.683	0.684	0.693	0.609	0.632	0.653	0.644	0.608
	D	0.802	0.806	0.824	0.824	0.831	0.780	0.794	0.807	0.799	0.774
	程度	良好	良好	良好	良好	良好	中级	中级	良好	中级	中级
山西	C	0.993	0.985	0.975	0.972	0.980	0.993	0.988	0.991	0.978	0.986
	T	0.554	0.530	0.519	0.528	0.518	0.479	0.554	0.578	0.559	0.540
	D	0.741	0.723	0.711	0.716	0.713	0.689	0.740	0.757	0.740	0.730
	程度	中级	中级	中级	中级	中级	初级	中级	中级	中级	中级
河南	C	0.999	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
	T	0.585	0.558	0.577	0.572	0.590	0.622	0.649	0.665	0.657	0.619
	D	0.765	0.747	0.759	0.756	0.768	0.789	0.805	0.815	0.810	0.786
	程度	中级	中级	中级	中级	中级	中级	良好	良好	良好	中级
山东	C	0.973	0.978	0.980	0.979	0.973	0.970	0.973	0.980	0.977	0.975
	T	0.650	0.651	0.656	0.647	0.630	0.630	0.650	0.647	0.658	0.660
	D	0.796	0.798	0.802	0.796	0.783	0.782	0.795	0.796	0.802	0.802
	程度	中级	中级	良好	中级	中级	中级	中级	中级	良好	良好

黄河流域分区域生态保护和经济高质量发展耦合度趋势如图 3.7 所示, 从流域系统整体看, 2012—2021 年黄河流域九省区生态保护和经济高质量发展耦合度呈现小幅波动下降趋势由 2012 年 0.969 下降至 2021 年 0.966, 下降了 0.36%。分阶段来看, 流域整体耦合度平均水平由 2012 年 0.969 降低至 2014 年 0.960, 降低 0.89 个百分点; 接着由 2014 年 0.960 上升至 2018 年 0.968, 提升 0.79 个百分点再由 2018 年 0.968 降低至 2020 年 0.961, 降低 0.72 个百分点; 最后从 2020 年 0.961 上升至 2021 年 0.966, 提升了 0.56 个百分点。其主要原因是由于黄河流

域粗放型经济发展模式开始逐步向绿色经济发展模式转变,黄河流域经济发展速度减缓,着力注重生态环境修复,2019年后开始逐渐平衡两者之间的发展,系统内部整体耦合度逐渐上升。

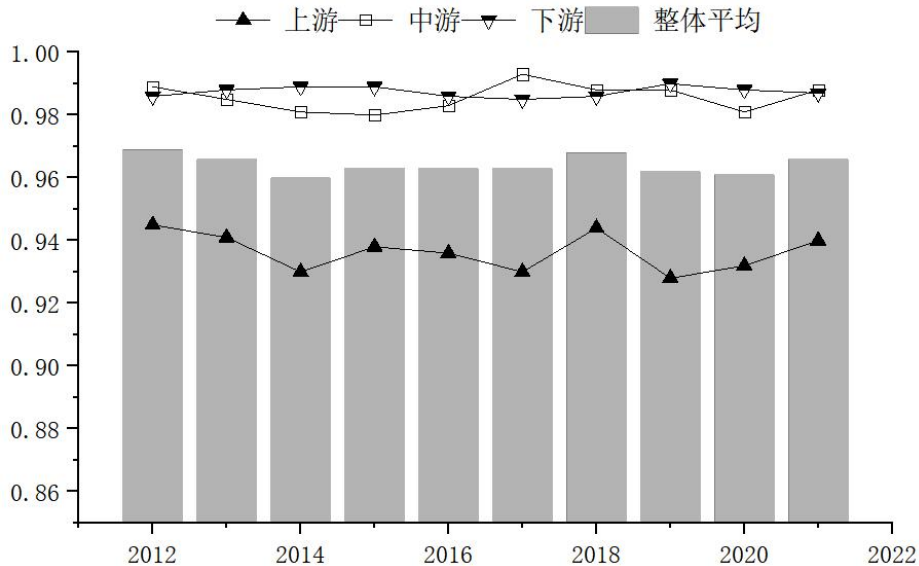


图 3.7 分区域生态保护与经济高质量耦合度分析

分区域来看,2012—2021年黄河流域上游地区耦合度均低于流域平均水平,其耦合指数总体呈现波动下降趋势,由2012年0.945下降至2021年0.940,下降了0.58个百分点。中游地区耦合度高于流域整体平均水平,耦合指数呈现先下降后上升再下降趋势,由2012年0.989下降至2021年0.988,下降了0.10%。下游地区耦合度高于流域整体平均水平,与中游地区相比,除2012年、2017年、2018年外均高于中游水平,其耦合指数呈现波动上升趋势,由2012年0.986上升至2021年0.987,提升0.10个百分点。

综上所述,黄河流域上、中、下游生态保护和经济高质量发展耦合度表现不一,下游地区和中游地区交叉波动,均高于流域整体平均水平和下游地区耦合水平,但总体上仍然处于高水平耦合阶段,这说明黄河流域生态系统与经济系统相互关联程度较强,生态环境与社会经济发展息息相关。

黄河流域九省区生态保护和经济高质量发展耦合协调度趋势如图3.8所示,从流域整体看,2012—2021年黄河流域九省区生态保护和经济高质量发展耦合协调水平总体呈现曲折上升趋势,由2012年0.727上升至2021年0.732,提升了0.72个百分点。分阶段来看,流域整体耦合协调度平均水平由2012年0.727下降至2014年0.725,下降了0.71%;接着由2014年0.725上升至2019年0.741,



提升 2.68%；最后由 2019 年 0.741 下降至 2021 年，下降了 1.21%。这说明黄河流域生态系统和经济系统的协同水平在逐步提升，生态环境与经济发展相互依赖相互促进，推动黄河流域全方位共同发展。

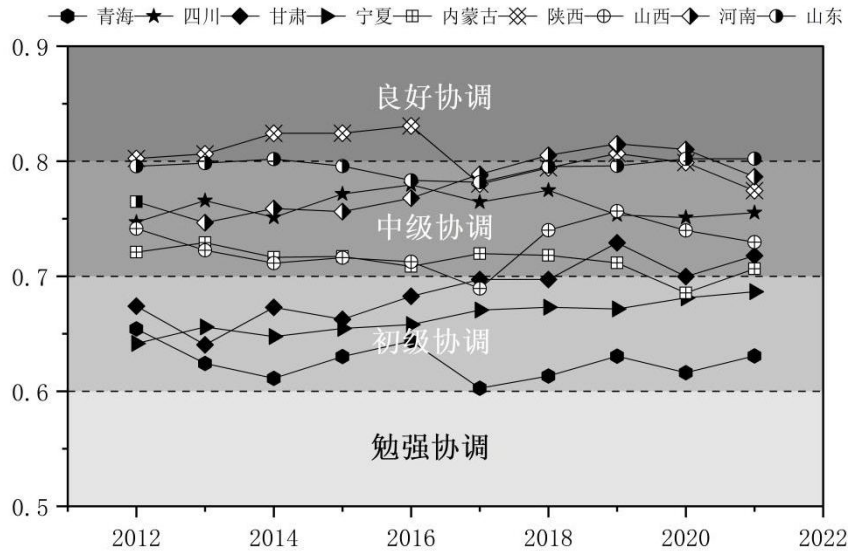


图 3.8 黄河流域九省区生态保护和经济高质量发展耦合协调度

分区域来看，黄河流域上游地区生态保护和经济高质量发展耦合协调指数平均值主要集中在初级协调阶段，其中青海和宁夏两省区在 2012—2021 年间耦合协调度均处于初级协调水平，甘肃省在 2015 年以后逐步由初级协调转变为中低协调水平，四川省在研究期内均处于中级协调水平。从时序变化来看，上游地区耦合协调指数变化不一，其中青海省耦合协调度呈波动下降趋势，由 2012 年 0.654 下降至 0.631，下降了 3.59%；而四川、甘肃和宁夏三省区耦合协调度由 2012 年 0.747、0.674、0.642 上升至 0.755、0.717、0.687，分别增长了 0.76%、0.68%、0.66%。这表明黄河流域上游西北地区生态环境状况与社会经济的协同发展仍处于初级阶段，西北地区具有良好的自然资源禀赋，而西南地区生态环境与社会经济基本可以实现协同发展，这依赖于四川省绿色生态产业的发展。

黄河流域中游地区生态保护和经济高质量发展耦合协调指数平均值主要集中在中级协调阶段，其中内蒙古除 2016 年转为初级协调水平，其余年份均处于中级协调水平，陕西省在 2016 年之前均处于良好协调水平，2016 年之后逐步转为中级协调水平，山西省除 2017 年处于初级协调水平外，其余年份均处于中级协调水平。从时序变化来看，中游地区耦合协调指数呈下降趋势，内蒙古、陕西和山西三省区的耦合协调指数由 2012 年 0.721、0.802、0.741 下降至 2021 年 0.706、

0.774、0.729，分别下降了 2.01%、3.49%、1.59%。这说明中游地区粗放型经济状况仍然没有得到改善，经济增长方式还依靠能源消耗，生态环境改善具有长期滞后性。

黄河流域下游地区生态保护和经济高质量发展耦合协调指数平均值中级协调和良好协调阶段，其中河南省在 2012—2017 年均处于中级协调水平，2018—2020 年处于良好协调水平，2021 年又转变为中级协调水平，山东省 2019 年之前处于中级协调水平，2019 年之后转变为良好协调水平。从时序变化来看，下游地区耦合协调指数呈上升趋势，河南和山东两省区耦合协调指数由 2012 年 0.764、0.795 上升至 2021 年 0.786、0.802，分别增长了 2.82%、0.82%。这说明下游地区生态环境和社会经济发展逐步趋于协调，基本形成经济社会发展与资源承载力相适应的生态经济发展格局，实现可持续发展。

表 3.7 沿黄九省区生态保护和经济高质量发展同步情况

年份 省区	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年
青海	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后
四川	生态滞后	生态滞后	生态滞后	同步发展	同步发展
甘肃	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后
宁夏	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后
内蒙古	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后
陕西	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后
山西	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后
河南	同步发展	同步发展	同步发展	同步发展	同步发展
山东	生态滞后	生态滞后	生态滞后	生态滞后	生态滞后
年份 省区	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年
青海	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后
四川	同步发展	生态滞后	生态滞后	生态滞后	同步发展
甘肃	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后
宁夏	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后
内蒙古	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后
陕西	同步发展	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后
山西	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后	经济滞后
河南	同步发展	同步发展	同步发展	同步发展	同步发展
山东	生态滞后	生态滞后	生态滞后	生态滞后	生态滞后

黄河流域九省区生态保护和经济高质量发展同步情况如表 3.7 所示，可以发现，经济和生态同步发展情况占比 16.6%，生态滞后情况的占比为 17.7%，经济

滞后的情况占比为 65.5%。具体来看,黄河流域上游地区的青海、甘肃和宁夏三省区的主要问题在于经济发展滞后,四川省的处于生态环境滞后状态,但是又逐步转变为生态环境与经济增长同步发展状态,这种状态的转变还处于不稳定趋势。黄河流域中游地区中,内蒙古和山西两省区十年一直处于经济滞后状态,陕西省除 2017 年处于生态与经济同步发展外,其余时期均处于经济滞后状态。黄河流域下游地区中,河南省已经实现生态系统和经济系统同步发展状态,山东省处于生态环境滞后于经济高质量发展状态。由此相对发展度,为实现区域内部生态和经济协同发展,中上游省区还需促进绿色经济发展,加大科技赋能,提升经济运行效率,而下游省区需注重生态环境保护,改变产业结构,提升环境治理。

### 3.4 生态保护与经济高质量协同发展时空特征分析

#### 3.4.1 生态保护与经济高质量协同发展的空间分布

为了更加直观观测黄河流域九省区生态保护和经济高质量发展协同性的空间分布特征,本文利用 ArcGIS 可视化工具对生态系统和经济系统的协同性分省区进行描述性统计。本文将选取 2012—2021 年间平均间隔相等的四个年份作为考察期,选取 2012 年、2015 年、2018 年和 2021 年将每一年的协同指数按照相同的划分标准进行可视化展示,最终根据可视化结果判断其协同性的大小和空间分布情况,如图 3.9 所示。根据图像展示结果,发现在考察期范围内,黄河流域九省区生态保护和经济高质量发展的协同性均呈现出东部高西部低,南部高北部低的空间分布特征,二者协同性有明显的空间异质性,且东部和南部呈现出高高聚集现象,这表明东部和南部生态和经济系统的协同程度受周边城市的影响较大。

分考察期来看,2012 年陕西省耦合协调性最高,东部地区河南省和山东省两省份次之,西部地区甘肃和青海两省处于较低水平,宁夏回族自治区耦合协调性最低。2015 年陕西省耦合协调性依旧处于最高,四川、河南和山东处于第二梯度,内蒙古和山西处于第三梯度,甘肃和宁夏两省区处于第四梯度,青海耦合协调性最低。2018 年河南省耦合协调性最高,四川、陕西和山东三省区耦合协调性处于第二梯度,其余省区和 2015 年状态相同。2021 年山东省耦合协调性最高,四川、陕西和河南三省耦合协调性处于第二梯度,甘肃省耦合协调性转为第

三梯度，其余省区和 2018 年状态相同。综上所述，黄河流域九省区耦合协调性呈现明显的空间异质性，且东西差异较大，区域间的协调发展极其不平衡，这种空间分布格局与区域间生态经济同步发展目标还有一定的差距。

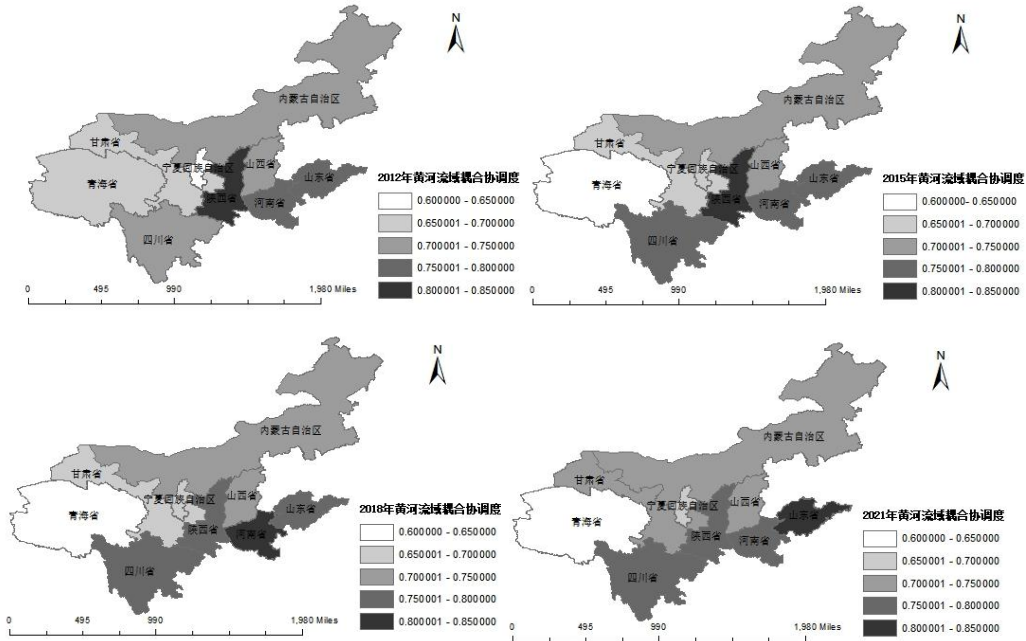


图 3.9 黄河流域生态保护与经济高质量发展耦合协调度空间格局(2012、2015、2018、2021)

### 3.4.2 生态保护与经济高质量协同发展的空间差异

#### 3.4.2.1 Dagum 基尼系数及其分解法

已有研究表明协同性具有明显的空间异质性，为进一步探究协同性的空间差异来源，本文利于 Dagum 基尼系数对协同指数进行分解。通过运用基尼系数定量分析协同性的空间差异水平，本文中将黄河流域划分为上游、中游和下游三大区域，根据地理位置的不同上游包含 3 个省区，中游包含 4 个省区，下游包含 2 个省区，根据上中下游的平均协同指数离差绝对值计算得到 Dagum 基尼系数：

$$G = \frac{1}{2n^2y} \sum_{a=1}^k \sum_{b=1}^k \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_b} |y_{ai} - y_{bj}| \quad (3.15)$$

式中， $G$  表示协同性的基尼系数， $k$  表示划分的 3 个区域， $n$  表示黄河流域 9 个省区， $a$  和  $b$  表示上中下游不同的区域组， $n_a$  和  $n_b$  分别上中下游区域内部的省区个数， $y_{ai}$  和  $y_{bj}$  分别表示不同区域内部的协同发展指数。

为了深入了解协同性的空间差异来源，本文将 Dagum 基尼系数进行分解，

将其分解为区域内的差异、区域间的差异和区域间的超变密度贡献。其中区域间差异是指上中下游区域内部省份的差异，区域间的差异是指上游和下游、上游和中游、下游和中游区域间的差异，区域间的超变密度贡献是指区域间交叉影响的余数，三者具体计算公式<sup>[37]</sup>如下：

$$G_{aa} = \frac{1}{2n^2 y} \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_b} |y_{ai} - y_{aj}| \quad (3.16)$$

$$G_{ab} = \frac{1}{n_a n_b (y_a + y_b)} \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_b} |y_{ai} - y_{bj}| \quad (3.17)$$

$$G_w = \sum_{a=1}^k G_{aa} p_a s_a \quad (3.18)$$

$$G_{nb} = \sum_{a=2}^k \sum_{b=1}^{a-1} G_{ab} (p_b s_a + p_a s_b) D_{ab} \quad (3.19)$$

$$G_t = \sum_{a=2}^k \sum_{b=1}^{a-1} G_{ab} (p_b s_a + p_a s_b) (1 - D_{ab}) \quad (3.20)$$

式中， $G_{aa}$  和  $G_{ab}$  分别表示上中下区域内和区域间的基尼系数， $G_w$  和  $G_{nb}$  分别表示区域内和区域间的贡献， $G_t$  表示超变密度的贡献。 $p_a$  表示区域内部省区个数占总体研究对象的比例， $s_a$  表示区域内部协同指数总和的比例， $D_{ab}$  表示协同性在区域间的相对影响程度，公式为：

$$D_{ab} = (h_{ab} - q_{ab}) / (h_{ab} + q_{ab}) \quad (3.21)$$

$h_{ab}$  表示区域间所有  $y_{ai} - y_{aj} > 0$  样本值加总的数学期望； $q_{ab}$  表示区域之间所有  $y_{ai} - y_{aj} < 0$  样本值加总的数学期望。公式如下：

$$h_{ab} = \int_0^{\infty} dF_a(y) \int_0^y (y-x) dF_b(x) \quad (3.22)$$

$$q_{ab} = \int_0^{\infty} dF_b(y) \int_0^y (y-x) dF_a(x) \quad (3.23)$$

其中， $F_a$  和  $F_b$  分别表示区域  $a$  和区域  $b$  的累计密度分布函数。

#### 3.4.2.2 生态保护与经济高质量协同发展的空间差异特征

通过厘清 Dagum 基尼系数及其分解法的相关概念，本文运用 MATLAB 软件

测算黄河流域协同性的基尼系数，分析其空间差异特征和空间差异来源，为区域内和区域间的协同发展提供理论基础。

黄河流域九省区生态保护与经济高质量发展协调性的空间差异来源及贡献率如表 3.8 所示，可以发现，黄河流域协调性的总体 Dagum 基尼系数集中在 [0.03,0.06] 范围内，总体基尼系数均值为 0.046，这说明黄河流域整体系统的协同性存在空间差异性，但是这种空间差异性相对较小。

**表 3.8 沿黄九省区生态保护和经济高质量发展协同性的空间差异来源及贡献率**

年份	总体 系数	区域内基尼系数			区域间基尼系数			贡献率 (%)		
		上游	中游	下游	上一中	上一下	中一下	区域内	区域间	超变密度
2012	0.0433	0.0310	0.0239	0.0098	0.0565	0.0692	0.0261	20.7706	73.2745	5.9548
2013	0.0495	0.0410	0.0247	0.0167	0.0663	0.0732	0.0278	22.7960	65.6880	11.5160
2014	0.0522	0.0415	0.0334	0.0138	0.0650	0.0756	0.0385	23.3831	66.0022	10.6147
2015	0.0496	0.0397	0.0319	0.0127	0.0636	0.0688	0.0364	23.5837	61.2178	15.1984
2016	0.0466	0.0391	0.0362	0.0050	0.0574	0.0597	0.0404	25.1136	56.0596	18.8267
2017	0.0454	0.0468	0.0276	0.0022	0.0476	0.0691	0.0366	26.4119	63.9609	9.6272
2018	0.0465	0.0461	0.0225	0.0031	0.0530	0.0743	0.0319	24.2035	69.2102	6.5863
2019	0.0446	0.0382	0.0279	0.0059	0.0495	0.0729	0.0325	23.6961	71.0934	5.2106
2020	0.0478	0.0385	0.0340	0.0025	0.0487	0.0798	0.0418	23.2241	70.3504	6.4255
2021	0.0391	0.0363	0.0205	0.0049	0.0373	0.0648	0.0375	24.0041	68.6069	7.3890

在分析空间区域内差异时，将黄河流域九省区划分为上游、中游和下游三个区域，其中上游地区基尼系数在 [0.03,0.05] 范围内，均值为 0.039；中游地区基尼系数在 [0.02,0.04] 范围内，均值为 0.028；下游地区基尼系数在 [0,0.02] 范围内，均值为 0.007，这说明黄河流域上、中、下游区域内协同性均存在一定的空间差异性，且上游差异最大，中游次之，下游差异最小。在分析区域之间的差异时，分别对上游和中游、中游和下游、上游和下游之间的差异性进行测算，其中上游和中游之间协调性的基尼系数在 [0.03,0.07] 范围内，均值为 0.054；上游和下游之间协调性的基尼系数在 [0.05,0.08] 范围内，均值为 0.071；中游和下游之间的基尼系数为 [0.02,0.05] 范围内，均值为 0.035，这说明黄河流域上、中、下游区域间存在差异性，且上游和下游之间的差异性最大，中游和下游之间的差异性最小。在分析差异贡献率来看，区域内平均贡献率为 23.71%，区域间平均贡献率为 66.54%，超变密度平均贡献率为 9.73%，三者中区域间的差异贡献率占比最大，这说明区域间的差异是影响黄河流域协同性的主要因素。

黄河流域协同发展水平的总体 Dagum 基尼系数趋势如图 3.10 所示，可以发

现总体 Dagum 基尼系数呈现先上升后下降趋势，其中 2012 年到 2014 年呈现明显上升趋势，由 0.043 上升为 0.052，增长率为 20.55%，2014—2021 年总体呈现波动下降趋势，2020 年有所增长但增长幅度不是很大，由 2014 年 0.052 下降至 2021 年的 0.039，降幅为 25.09%。在研究期内 2021 年黄河流域耦合协调性基尼系数达到最小值，这表明黄河流域“生态与经济”两系统间的协同性的空间差异性在逐渐减弱，逐渐转变为区域性统筹协调发展阶段。

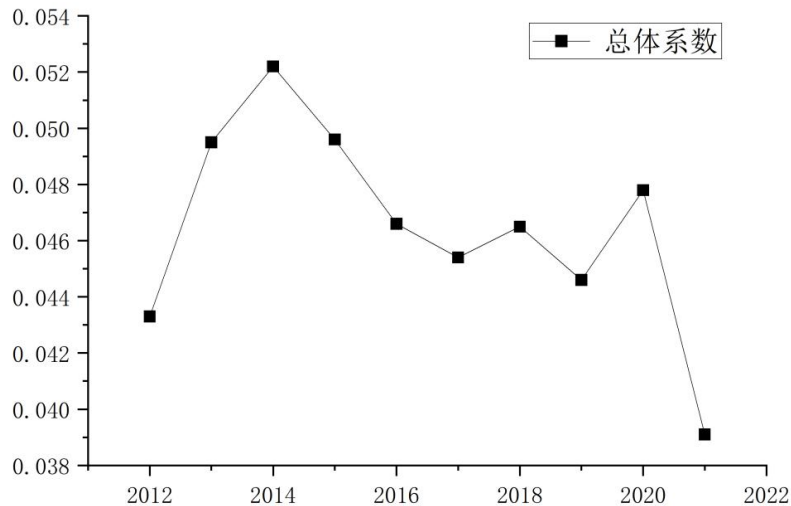


图 3.10 黄河流域总体 Dagum 基尼系数趋势图

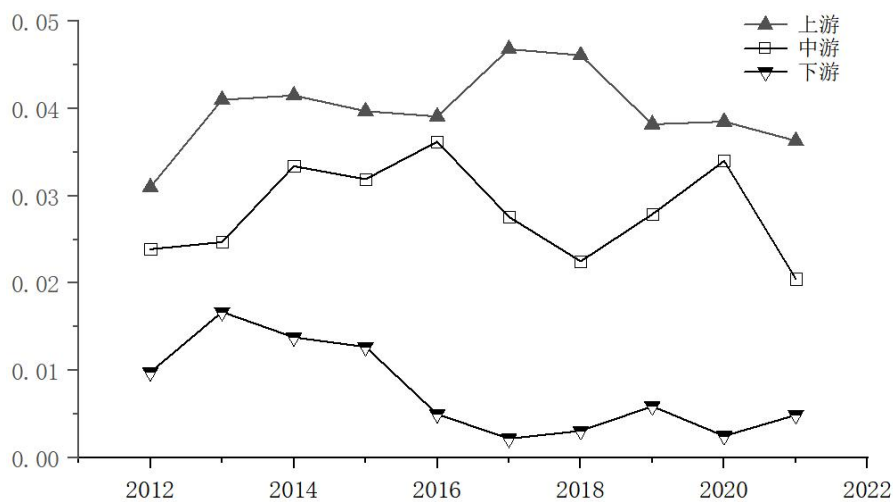


图 3.11 黄河流域区域内 Dagum 基尼系数

黄河流域区域内协同性 Dagum 基尼系数如图 3.11 所示，由此可知，2012—2021 年间，黄河流域上、中、下游三大区域内的基尼系数变化不一，其中上游地区的基尼系数最大，且呈现出连续的“上升—下降”趋势，由 2012 年的 0.031 上升至 2021 年的 0.036，年均增幅为 1.71%，说明上游地区内省份生态与经济协

同性存在着较大的差异性和不平衡性。中游地区的基尼系数次之，基本呈现“M”型降低趋势，由2012年的0.024下降至2021年的0.020，年均降低1.42%，说明中游地区内省份协同性发展基本一致，地区差异持续缩小。下游地区的基尼系数最小，其发展趋势呈逐年递减，由2012年的0.0098下降至2012年的0.0049，年均降低5%，这说明黄河流域下游地区内省份生态与经济协同性差异非常小。

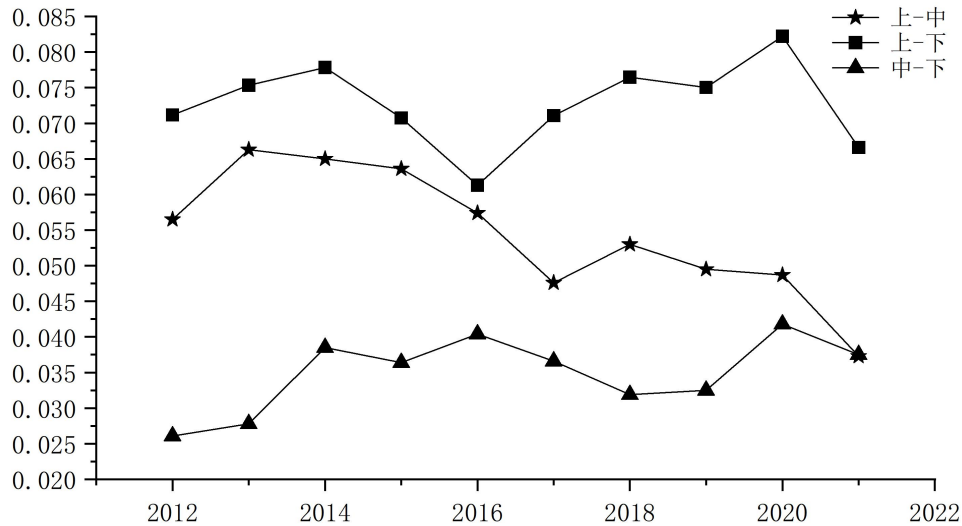


图 3.12 黄河流域区域间 Dagum 基尼系数

黄河流域区域间协同性的 Dagum 基尼系数如图 3.12 所示，由此可知，上游和下游、上游和下游协同性地区差异呈现逐渐增大的态势。具体而言，上游和下游协同性的 Dagum 基尼系数从 2012 年的 0.069 下降到 2021 年的 0.064，年均下降 0.63%。而上游和中游协同性的 Dagum 基尼系数则从 2012 年的 0.056 降至 2021 年的 0.037，年均减少 3.39%。中游和下游协同性的 Dagum 基尼系数则由 2012 年的 0.026 上升至 2021 年的 0.037，年均增加 4.36%。上游和下游之间的基尼系数达到最高值，而中游和下游之间的基尼系数则最低，这表明下游和上游之间的生态和经济协同发展存在明显差异，而中游和下游之间的差异较小，“东高西低”这种不平衡的发展趋势趋于明显。

黄河流域生态保护与经济高质量发展协调性的空间差异分解及来源如图 3.13 所示，可以发现，从时序变化角度来看，区域间的贡献率呈下降趋势，而区域内和超变密度的贡献率均呈现出上升趋势。具体来看，区域内差异贡献率从 2012 年的 20.77% 上升至 2021 年的 24.00%，年均上升 1.55%；超变密度贡献率由 2012 年的 5.95% 上升至 2021 年的 7.39%，年均增长 2.41%；区域间差异贡献



率由 2012 年的 73.27% 下降至 2021 年的 68.60%，年均下降 0.63%。从贡献率的值来看，区域间差异贡献率占比最大，其平均值为 66.54%，区域内的差异贡献率占比次之，平均值为 23.71%，超变密度贡献率占比最小，其平均贡献率为 9.73%，这表明黄河流域协同性的空间差异主要来源于区域间的差异。

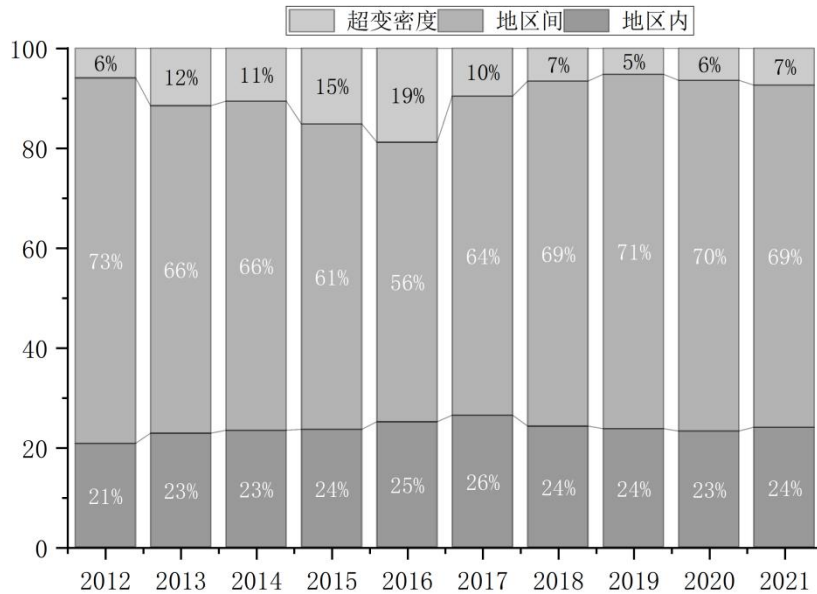


图 3.13 生态保护和经济高质量发展协同性的区域差异分解

### 3.4.3 生态保护与经济高质量协同发展的分布动态演进

#### 3.4.3.1 Kernel 密度估计方法

为进一步研究黄河流域整体和区域内部的分布动态演进规律，本文采用 Kernel 密度估计方法将协同性的空间分布趋势和演化特征利用曲线形式刻画出来。核密度估计方法利用密度函数曲线图刻画协同性的分布位置和特征，利用其特有的趋势性描绘协同性的延展性和极化现象，由于这种方法具有非常强的稳定性，因此核密度估计方法非常适合研究生态和经济系统之间的协同性和非平衡性关系<sup>[37]</sup>。其计算公式如下：

假设随机变量  $X$  的密度函数为  $f(x)$

$$f(x) = \frac{1}{Nk} \sum_{i=1}^N H\left(\frac{X_i - \bar{X}}{K}\right) \quad (3.24)$$

其中， $N$  表示样本观测值数目，本文中表示研究的黄河流域九个省区； $X_i$  表示独立同分布的观测值，本文中表示九个省区生态保护与经济高质量发展的协同

性； $\bar{x}$ 表示协同性的均值； $H$ 表示高斯正态核密度函数， $k$ 表示带宽。本文采用高斯核密度函数对黄河流域生态和经济系统协同性的地区差异及其动态演进进行分析。本文将黄河流域九省区划分为上游、中游和下游三大区域进行研究，将2012—2021年每年的截面数据作为参考对象，利用曲线分布形态和位置来分析黄河流域生态与经济系统协同性的空间动态趋势。

#### 3.4.3.2 生态保护与经济高质量协同发展的动态演进趋势

本文在前文测度协同性的基础上，运用核密度估计方法对黄河流域整体及上、中、下游三大区域的协同性的动态演进趋势进行分析，其分布趋势及演进特征结果如下所示：

黄河流域整体及上、中、下游协同性的分布动态演进规律如图3.14所示。对于黄河流域整体协同性的核密曲线，从分布位置看，黄河流域整体协同性核密度函数中心点向右平移，黄河流域整体协同发展水平不断提升，并且发展速度较快。就分布形态而言，在观察期内，黄河流域整体协同性的核密度函数主峰峰值呈现上升趋势，波峰形状不断变窄，从宽峰逐渐变为尖峰，这表明黄河流域整体生态保护和经济高质量发展的协同水平差距正在缩小。从分布延展性看，黄河流域整体协同性的延展性呈“先变宽后变窄”的态势，但是与2012年相比依旧较宽，因此黄河流域整体省区之间的差异表现为短期先扩大后收敛，但长期扩大的趋势。从极化趋势看，黄河流域整体的协同性呈现明显的单峰分布。

对于黄河流域上游协同性的核密度曲线，从分布位置看，黄河流域上游协同性曲线中心点向右平移，说上游的协同发展水平呈现上升趋势。根据分布形态观察，可以看出上游协同性曲线的主要峰值呈现先上升后下降逐渐平稳的趋势，主峰逐渐由窄变宽，这反映了上游地区协同水平的差距逐渐扩大。从分布延展性的角度来看，上游协同性逐渐增大，显示出上游省份之间协同性的差距在不断增加。而从极化趋势来看，在2012年至2016年间，上游协同性的核密度曲线图呈现出明显的双峰分布，说明上游协同性存在着明显的两极分化现象。但在2016至2021年间，其核密度曲线图由双峰分布转变为单峰分布，意味着上游地区两级分化现象有了很大的改变。

对于黄河流域中游省区协同性的核密度曲线，从分布位置看。黄河流域中游协同性的核密度函数中心表现为先向左移后向右移，表明黄河流域中游地区的协

同性呈现先减小后增大的趋势。从分布形态看，中游省区协同性的核密度函数的主峰峰值呈先上升后下降，且主峰的形状由宽变窄再变宽，说明中游地区协同发展水平的差距先变小后变大。从分布延展性来看，其延展性长期呈拓宽态势，表明中游省区协调性的差距逐渐拉大。从极化趋势来看，2012—2014年呈现平缓的双峰分布，2014—2016年双峰分布趋于显著，2016—2020年呈现单峰分布意味着中游地区存在两级分化现象，2014—2016年两极化扩大，2016年后分化现象减弱。

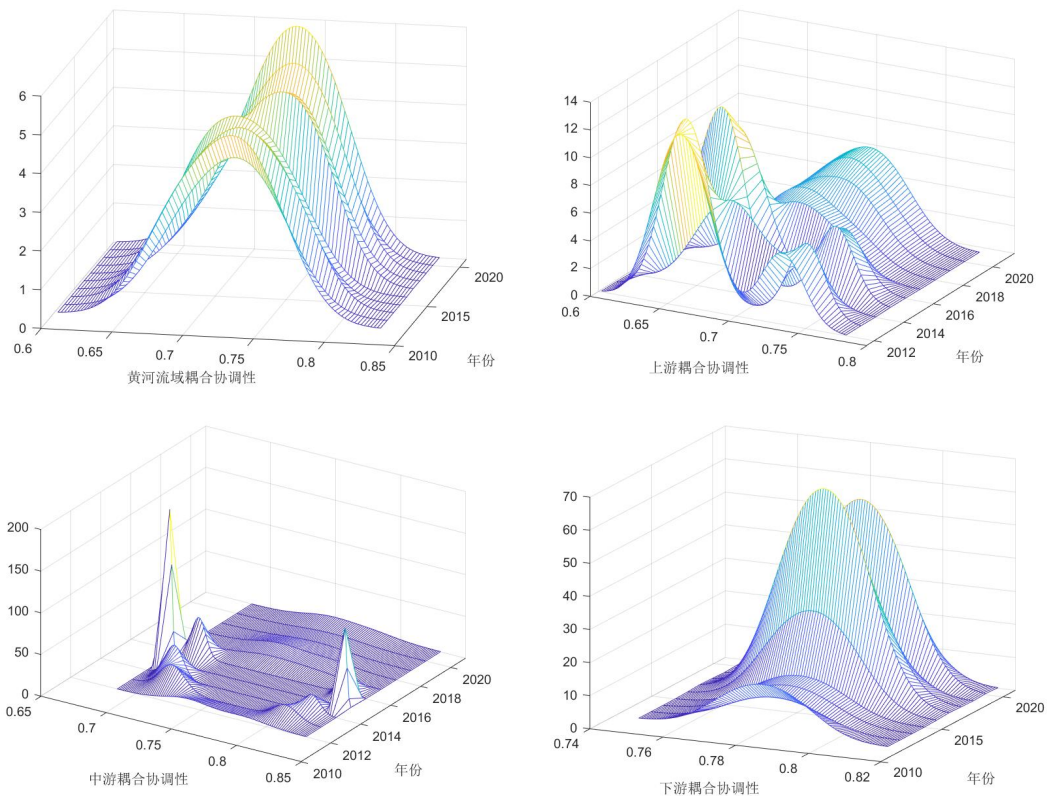


图 3.14 黄河流域整体及上中下游生态保护与经济高质量发展协同性的分布动态演进

对于黄河流域下游省区协同性的核密度曲线，从分布位置看，黄河流域下游协同性曲线的中心表现为小幅度右移，表明下游地区协同性呈现增大趋势。从分布形态看，下游地区协同性的核密度函数的主峰表现为局部先上升后下降，整体上升趋势，且主峰的形状由宽变窄再变宽，说明下游省区协同发展水平的差距由大变小再变大。从分布延展性来看，其延展性变化逐渐拓宽，意味着下游省区间的差距在变大。从极化趋势来看下游省区协调性在观察期内呈现明显的单峰分布。

### 3.4.4 生态保护与经济高质量协同发展的长期转移趋势

#### 3.4.4.1 Markov 链模型

为预测黄河流域生态和经济系统协同性的未来发展方向, 本文运用 Markov 链模型刻画协同性的长期发展方向和转移趋势。Markov 链模型通过历史观测数据构建转移概率矩阵, 将观测数据用离散化用概率表示, 通过转移概率值及其分布预测长期转移趋势<sup>[31]</sup>, 构建概率矩阵的方法具体如下:

假设随机变量  $X$  在  $t$  时刻的状态为  $i$  时,  $X$  在  $t+1$  时刻的状态为  $j$ <sup>[55]</sup>:

$$P_{ij} = P(X_{t+1} = j | X_t = i, X_{t-1} = i_{k-1}, \dots, X_0 = i_0) = P(X_{t+1} = j | X_t = i) \quad (3.25)$$

式中,  $P_{ij}$  表示  $\{X_t\}$  在状态为  $i$  的情况下, 在下一时刻状态转移为  $j$  的概率。

通常情况下  $P_{ij}$  过极大似然估计法表示转移概率, 即  $P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i}$ , 其中  $n_{ij}$  表示在观测期范围内由  $t$  时刻的状态  $i$  转移到  $t+1$  时刻状态  $j$  的个数,  $n_i$  表示在观测期内处于状态  $i$  的个数。

假设将协同发展水平划分为  $K$  种类型, 得到  $k \times k$  阶方阵, 当  $K = 4$  时不同时期的状态转移概率  $P_{ij}$  如下:

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} \end{pmatrix} \quad (3.26)$$

若转移概率矩阵不随时间变动, 经过  $n$  期后协同发展的平稳分布具有收敛性,

那么可得到其平稳分布  $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$ , 且满足  $\pi_j = \sum_{i=1}^N \pi_i p_{ij} (\pi_j > 0; \sum_{j=1}^N \pi_j = 1)$ ,

即为黄河流域生态保护与经济高质量协同发展的长期均衡状态。根据平稳分布概率, 可以预测区域间生态和经济系统与是否能够实现协同发展。若平稳分布  $\pi$  为集中分布, 则表明黄河流域省区耦合协调性集中处于某一水平状态, 九省区之间的区域差异性将会被消除; 若平稳分布  $\pi$  最终为分散分布, 说明黄河流域各省区耦合协调性分散处于不同状态水平, 表明黄河流域九省区间的区域差异将长期存在, 短期内不会被消除, 无法实现区域间生态与经济系统的协同发展。

### 3.4.4.2 结果分析

结合 2012—2021 年黄河流域生态和经济协同性的测度结果，本文按照四分位数划分，将协同发展指数结果划分为四种类型，当测度结果在 $[0,0.6812]$ 范围时，协同发展处于低水平阶段，划分为类型 I；当测度结果在 $(0.6812,0.7294]$ 范围时，协同发展处于中低水平阶段，划分为类型 II；当测度结果在 $(0.7294,0.7817]$ 范围内时，协同发展处于中高水平阶段，划分为类型 III；当测度结果在 $(0.7817,1]$ 范围时，表明协同发展处于高水平阶段，划分为类型 IV。其长期转移概率结果如下所示：

表 3.9 黄河流域生态保护和经济高质量发展协同性的 Markov 转移概率矩阵

类型	I	II	III	IV
I	0.9091	0.0909	0.0000	0.0000
II	0.0000	0.9474	0.0526	0.0000
III	0.0000	0.0500	0.8000	0.1500
IV	0.0000	0.0000	0.1500	0.8500

黄河流域生态保护和经济高质量发展协同性的 Markov 链转移概率矩阵如表 3.9 所示，本文将协同发展水平划分为 4 种类型，运用 Markov 链模型测度协同性的转移概率矩阵，其中主对角线上的数值表示协同性维持原有水平的概率，非主对角线元素表示黄河流域协同性向其他水平转移的概率。

通过观察 Markov 转移链概率矩阵，发现其具有如下特征：

协同发展水平具有较强的路径依赖性。转移概率矩阵中主对角线概率值明显高于非主对角线概率值，主对角线上的概率最小值为 0.8，即生态和经济系统协同发展保持原有状态的概率值最小为 0.8。协同发展水平处于低水平和中低水平的稳定性极强，处于中低水平阶段的概率可以达到 0.9474，处于低水平阶段的概率稍低达到 0.9091。这表明现阶段黄河流域生态与经济的协同发展仍保持原有状态且更大概率处于中低水平。

协同发展水平具有较低水平的跳跃性。黄河流域各省区生协同发展水平转向相邻状态水平的几率较高，跳跃式发展的几率基本为 0。具体来看，由低向中低水平转移的概率为 0.0909，由低向中高或高水平转移的概率为 0；由中低向中高水平转移的概率为 0.0526，由中低向高水平转移的概率为 0，这表明黄河流域生态环境和经济高质量发展实现跨越式发展保持平衡状态仍然很艰难。

协同发展水平具有长期稳定性。黄河流域九省区生态保护与经济高质量协同

发展向低水平转移的概率较低，而保持原有状态或者转移到高水平的概率较高。具体来看，由中高向中低水平转移的概率为 0.05，而维持中高或向高水平转移的概率为 0.95；由高向中高水平转移的概率为 0.15，而保持高水平的概率为 0.85。因此说明黄河流域协同发展水平转向低水平的概率较小，会长期保持原有状态或向高水平转移。

表 3.10 初始分布与稳态分布概率

类型	I	II	III	IV
初始分布	0.2273	0.2721	0.2506	0.2500
稳态分布	0.0372	0.3736	0.3028	0.2864

黄河流域生态保护和经济高质量协同发展的初始分布和稳态分布如表 3.10 所示，通过对比初始和稳态分布的概率值，可以发现，黄河流域生态与经济系统协同发展水平处于低水平的概率大幅减小，由初始的 0.2273 变化为稳态的 0.0372；协同发展水平处于中低水平的概率有增长趋势，由初始的 0.2721 变化为稳态的 0.3736，协同发展水平处于中高水平的概率小幅增长，由初始的 0.2506 变化为稳态的 0.3028；协同发展水平处于高水平的概率也有增长趋势，由初始的 0.2500 变化为稳态的 0.2864，表明协同性表现出向高水平强化的趋势。从稳态分布来看，最终稳态分布中中低水平、中高水平和高水平的概率分别为 0.3736、0.3028、0.2864，稳态主要分散在这三种状态，按照其向较高水平强化的演化趋势，黄河流域生态和经济系统协同发展的区域差异性仍然会长期存在。

## 4 生态保护与经济高质量协同发展的影响因素分析

本章基于前文协同发展的时空演变趋势,首先分析协同发展水平的空间自相关性,进一步深入探讨黄河流域各省区协同发展的影响因素。本文在根据前文指标体系的基础上,探讨生态环境体系中压力、状态、响应指数和经济高质量发展体系中创新、协调、绿色、开放、共享指数等因素对协同发展水平的作用机理,运用空间面板模型实证研究协同发展水平的影响效应,为经济与生态系统实现协同发展目标提供决策依据。

### 4.1 生态保护与经济高质量协同发展的自相关性分析

#### 4.1.1 模型介绍

为探究黄河流域协同发展水平的空间自相关性和空间集聚现象,本文采用全局空间自相关性检验和局部自相关性检验判别其是否对空间有依赖性。通常使用莫兰指数对空间自相关性测度,全局莫兰指数从系统的整体出发,判断系统整体的相关性和空间依赖性,同时可以为后续模型的建立提供检验基础;局部莫兰指数是基于系统内部的区域之间的相关性检验,进一步了解区域间的集聚现象,更贴近实际情况。

全局莫兰指数的计算公式为:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq 1}^n W_{ij} (x_{ij} - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq 1}^n W_{ij}} \quad (4.1)$$

局部莫兰指数的计算公式为:

$$I = \frac{x_i - \bar{x}}{S^2} \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (4.2)$$

其中  $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ ,  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ,  $x_i$  表示  $i$  省区的生态保护和经济高质量协同发展,  $n$  表示省区数量。莫兰指数的取值范围为 $[-1,1]$ , 当 Moran's I 的值大于

零时，表示变量之间存在正的空间自相关性；小于零则表示变量之间存在负的自相关性。Moran's I 的绝对值越靠近 1，说明变量对空间有很强的依赖性，即表示区域间的相互关联程度高。 $W_{ij}$  表示空间权重矩阵，其基本形式如下：

$$W_{ij} = \begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{n1} & W_{n2} & \cdots & W_{nn} \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

$W_{ij}$  表示省区  $i$  与省区  $j$  之间的相邻关系，本研究中省区数  $n=9$ ，故空间权重矩阵为 9 行 9 列的矩阵，由于黄河流域九省区生态保护与经济高质量协同发展意味着每个省区内部的协同发展与流域整体即省区间的协同发展，空间权重矩阵侧重衡量区域间的差异，所以认为区域间的协同性差异与其地理距离上的远近有很大的关系，距离近的省区更容易产生空间溢出效应，所以本文采用地理距离空间矩阵研究黄河流域耦合协调性的空间自相关性。其具体表达式如下：

$$w_{ij} = \frac{1}{d^2} \quad (4.4)$$

其中  $d$  表示省区之间经纬度的直线距离。

#### 4.1.2 空间自相关检验结果分析

本文利用黄河流域协同发展指数进行全局空间自相关性检验，全局莫兰指数用来反映协同发展水平的空间依赖性，进而说明区域间协同发展水平的密切关系程度，其计算结果如表 4.1 所示：

表 4.1 协同发展指数全局 Moran's I 检验结果

年份	I	E(I)	Sd(I)	z	P-value*
2012 年	0.082	-0.125	0.082	2.541	0.006
2013 年	0.087	-0.125	0.082	2.593	0.005
2014 年	0.043	-0.125	0.080	2.112	0.017
2015 年	0.050	-0.125	0.081	2.155	0.016
2016 年	0.023	-0.125	0.081	1.828	0.034
2017 年	0.013	-0.125	0.077	1.787	0.037
2018 年	0.077	-0.125	0.078	2.594	0.005
2019 年	0.037	-0.125	0.079	2.067	0.019
2020 年	0.065	-0.125	0.080	2.388	0.008
2021 年	0.035	-0.125	0.076	2.091	0.018

黄河流域生态与经济系统的协同性的全局莫兰指数检验结果如表 4.1 所示，



可以发现在观察期范围内,全局莫兰指数在 10%的显著性水平上拒绝原假设,这表明黄河流域协同发展水平呈现出显著的空间相关性,意味着黄河流域协同发展程度高的省区与较高协同省区周边,协同发展程度较低的省区与较低协同性的省区周边,即呈现出“高一高”“低一低”集聚现象,各省区生态与经济协同发展呈现空间依赖性。同时全局 Moran's I 指数均表现出大于 0 但接近于 0,这表明生态与经济的协同性呈现正向的空间自相关特征,但是存在空间聚集较弱现象。

全局莫兰指数从整体上表明黄河流域生态保护与经济高质量协同发展存在空间聚集现象,但是无法具体确认某个具体省区之间的相关性与聚集现象,因此还需结合局部空间相关关系做进一步的研究。本文选取 2012 年、2016 年和 2021 年计算黄河流域九省区局莫兰指数并生成其局部莫兰散点图。

省区	2012 年			2016 年			2021 年		
	Ii	z	P-value	Ii	z	P-value	Ii	z	P-value
青海	0.9412	1.6751	0.047	0.7872	1.4393	0.075	0.4165	0.8888	0.187
四川	-0.0508	0.3257	0.373	-0.0670	0.2513	0.401	-0.0786	0.1909	0.424
甘肃	0.8332	1.7986	0.036	0.6813	1.5188	0.064	0.3420	0.9093	0.182
宁夏	0.3008	1.6829	0.046	0.2534	1.4893	0.068	0.2121	1.2813	0.100
内蒙	-0.0032	0.3582	0.360	0.0441	0.4975	0.309	-0.0180	0.3158	0.376
陕西	-0.2867	-0.9573	0.169	-0.3744	-1.4523	0.073	-0.0376	0.4496	0.326
山西	0.0691	0.7199	0.236	-0.0624	0.2316	0.408	-0.0143	0.3994	0.345
河南	0.3207	1.4790	0.070	0.1965	1.0657	0.143	0.3527	1.5669	0.059
山东	0.3331	1.2979	0.097	0.1158	0.6828	0.247	0.3668	1.4032	0.080

**表 4.2 2012 年、2016 年、2021 年协同发展指数局部空间 Moran's I 检验结果**

黄河流域九省区生态与经济协同发展指数 2012、2016、2021 年局部莫兰指数检验结果如表 4.2 所示,可以发现 2012 年青海、甘肃、宁夏、河南和山东五省区局部莫兰检验结果在 10%显著水平下通过检验,2016 年青海、甘肃、宁夏和陕西四省区检验结果在 10%显著水平下通过检验,2021 年河南和山东两省区检验结果在 10%显著性水平下通过检验,小部分省区无法拒绝原假设,即空间内部不存在空间自相关性,而大部分省区均可通过检验,表明黄河流域部分省区存在空间自相关性,协同发展水平存在空间依赖性。

为进一步了解协同发展水平的空间集聚特征,本文利用莫兰散点图分析其协同发展水平的集聚程度和集聚性质。若散点图中的数据落入一三象限,则表示协同发展水平呈现正相关性质;若数据落入二四象限,则表示协同发展水平呈

现负相关性质。并且根据落入象限的不同将四个象限按照区域的集聚现象分为高高、低高、低低、高低集聚。2012年、2016年和2021年莫兰散点图如下所示：

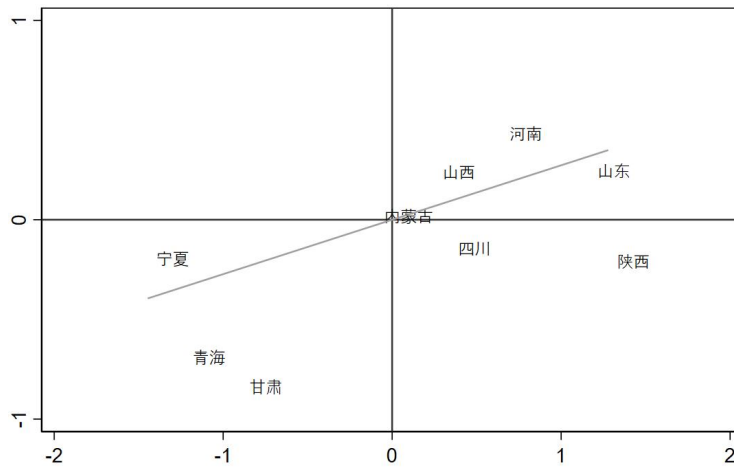


图 4.1 2012 年沿黄九省区生态保护与经济高质量协同发展局部莫兰散点图

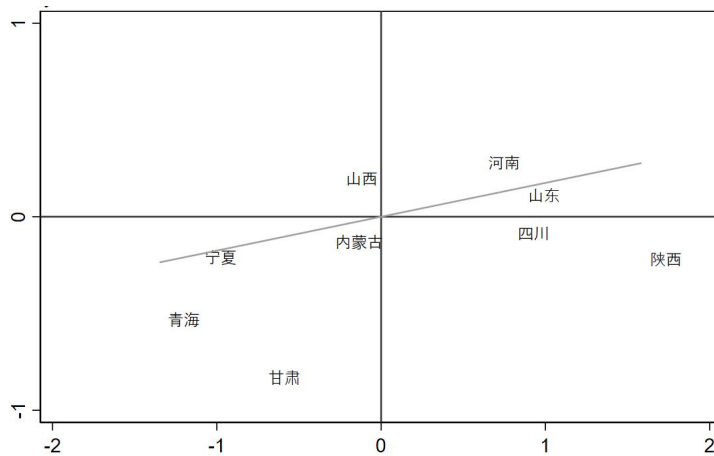


图 4.2 2016 年沿黄九省区生态保护与经济高质量协同发展局部莫兰散点图

2012年、2016年和2018年九省区耦合协调指数局部莫兰散点图如图4.1、图4.2、图4.3所示，可以发现观察期内，莫兰散点图的趋势大致相似，均位于第一和第三象限内，表明其协同发展水平在空间上呈现出稳定的正相关性，少部分省区位于第二或者第四象限，表现出局部负相关性。具体来看，2012年山东、河南、山西和内蒙古四省区位于第一象限，具有正相关性，呈现“高一高”聚集现象，表明周围省区的协同性会联动辐射本省区的协同性发展并具有正向影响；宁夏、青海和甘肃三省区位于第三象限，呈现“低—低”聚集现象，存在正相关性，表现为周围省区的协同性处于较低水平时，本省区的协同性水平会处于更低水平；四川和陕西两省区位于第四象限，呈现“高一低”聚集现象，存在负相关

关系。2016年河南和山东两省区位于第一象限，呈现“高一高”聚集现象，存在正相关关系；内蒙古、甘肃、青海和宁夏四省区位于第三象限，呈现“低—低”聚集现象，存在正相关关系；四川和陕西两省区位于第四象限，呈现“高一低”聚集趋势，存在负相关关系。2021年山西、河南和山东三省区位于第一象限，呈现“高一高”聚集，三省区的协同性水平的提高会影响周边省区的协同性发展；内蒙古、青海、宁夏和甘肃西北四省区位于第三象限，呈现“低—低”聚集，存在正相关关系，四川和陕西两省区位于第四象限，呈现“高一低”聚集现象，存在负相关关系。随着时间的变换推移，各个象限的散点分布逐渐由分散转变为集中，这表明黄河流域部分省区生态与经济协同发展区域差异在逐渐缩小。

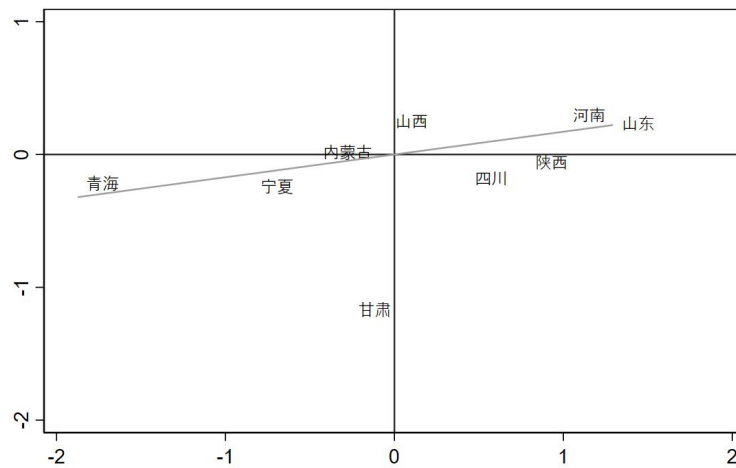


图 4.3 2021 年沿黄九省区生态保护与经济高质量协同发展局部莫兰散点图

通过对黄河流域生态保护与经济高质量协同发展的全局和局部相关关系的分析，认为黄河流域生态与经济协同发展过程中空间因素具有显著影响，为了使黄河流域省区内与省区间生态保护与经济高质量发展达到平衡，同时提升黄河流域整体生态与经济协调发展水平，因此在探讨其协同发展的影响因素时，不可以忽略其中内涵的空间因素，需要采用空间计量模型进一步分析协同发展水平的影响程度。

## 4.2 生态保护与经济高质量协同发展影响因素分析

### 4.2.1 影响因素分析

本文基于黄河流域生态保护与经济高质量发展内涵的研究，分别构建符合黄

河流域特点的指标体系，将生态系统围绕压力、状态和响应三个角度构建，将经济系统围绕创新、协调、绿色、开放和共享五个角度构建，目标层是将具体的数据指标按照一定的客观依据的总结呈现，并且通过前文纵横向拉开档次法已经科学合理的对生态和经济共八个维度指数测算，具有一定的研究意义。因此，本文借鉴张雪薇等<sup>[67]</sup>的做法，将二级指标作为解释变量，即将生态保护体系中压力、状态、响应指数和经济高质量发展体系中创新、协调、绿色、开放、共享指数作为黄河流域九省区生态保护与经济高质量协同发展的影响因素，探究其协同发展时空变化的深层次原因。

压力是人类生产生活活动对生态环境造成的影响。黄河流域中游地区的经济增长模式依然以消耗自然能源为主，能源消耗越多，产生的污染物排放越多，对生态环境造成的压力越大。随着高新技术和新能源产业的不断发展，一定程度上缓解了生态环境的压力，但是由于黄河流域生态环境脆弱，生态修复难度较大，这种改善并不明显。总体上认为压力指数将会对协同性产生负向影响。

状态是指在考察期内生态环境状况和生态变化情况。根据黄河流域状态指标反映其资源储量和自然环境状况，既包括其本身的自然资源禀赋，也包括经人类社会生产活动后造成的生态环境状况，二者均会受到人类生产活动的影响。过于依靠自然资源或者人类对自然资源造成污染都会对其状态产生负面影响，而人类的保护活动将会改善生态环境状态。因此，好的生态环境状态是促进黄河流域协同发展的重要因素。

响应是指人类为减轻生态环境压力、恢复生态环境状况作出的补救措施，主要表现为加大投入环境治理力度、加强自然资源保护。人类对生态环境的响应离不开高质量的经济支撑，推动经济绿色化，提高资源利用率，加快产业转型，减少污染排放，从源头处加强生态环境保护。另一方面经济的有效发展加大对污染治理的投资力度，从后端及时对生态环境响应，修复生态，人类的有效治理也对生产技术提出更高的要求，进而促进经济高质量发展。

创新是缓解生态压力和提升经济增长的不竭动力，是促进协同发展的动力源泉。一方面，科技创新通过改进生产技术和开创新能源技术，改变黄河流域部分省区以资源消耗为代价的经济增长模式，提高资源利用率，促进资源和合理开发和循环利用。同时通过科技技术手段可以加快生态环境建设，减少有害污染物的

排放,为黄河流域当前脆弱的生态环境状况提供保障支撑。另一方面,依据内生经济增长理论认为科技创新是经济持续增长的动力,推动技术创新就能推动技术生产效率,进一步加快产业结构转型,提升经济发展质量。

协调强调的是产业结构和城乡结构的协调,是维持经济社会稳定和减轻环境污染的主要手段,是黄河流域生态保护和经济高质量协同发展的内在要求。一方面,促进黄河流域城乡发展的平衡,可以缩小城乡收入差距,实现共同富裕,稳步提升经济增长质量。另一方面,由于黄河流域目前处于粗放型的增长模式,主要围绕能源消耗和资源经济发展,以高新技术产业为依托的企业较少,社会生产效率较低,经济增长缓慢且发展质量极低,同时高能耗的生产必然会带来生态环境的恶化,因此黄河流域产业结构转型迫在眉睫,建立低排放和低能耗的绿色经济发展模式,促进生态和经济协同发展。

绿色是改善生态环境的最终目标,也是实现绿色经济的重要一环,对促进协同发展发挥着重要的作用。绿色意味着生产生活的持续健康发展,这表明企业的经济生产活动向低能耗低污染转型,促进生产工艺创新,加快产品升级转型,提升企业经济效能,提高社会生产效率,实现生态保护的同时促进经济高质量发展。经济增长的同时意味着生态环境治理投资的增加,以此循环逐步实现黄河流域生态保护与经济高质量协同发展。

开放是促进国内国际双循环的必由之路,也是影响生态环境的重要因素。开放有利于激发市场活力、吸引外商投资、促进文化繁荣发展,这对国内经济运行起着不可或缺的作用。开放的营商环境意味着吸引各种类型的外资企业,外资企业的产业类型决定了对生态环境的压力状况,因此积极的文化引导可以促进外资企业实现绿色发展。同时外资企业的绿色经济的竞争发展也会带动本土企业的经济发展效率,加强企业自身竞争优势,带动产业链全面发展,最终实现城市可持续发展。

共享是人民社会生活的终极目标,共享不仅意味着经济成果的共享,也意味着城市生态文明的共享。共享的发展离不开社会经济的不断进步,是逐步实现共同富裕的基本要求,有利于增强科技创新水平,缩小收入分配差距,促进区域协调发展,推动经济高质量发展。同时共享的发展离不开城市生态环境的优美健康发展,好的生态环境可以满足人民群众的精神文明需求,提高全社会的文化程度,

加强对生态保护的意识提升。因此共享是实现生态保护和经济高质量协同发展的重要影响因素。

综上所述，压力、状态、响应、创新、协调、绿色、开放、共享八个指数均可作为影响黄河流域生态保护与经济高质量发展的重要因素，这些因素会对黄河流域协同发展造成不同程度的影响，并且根据耦合协调指数空间自相关性的检验，表明其在空间上具有一定的差异性，因此本文通过构建以耦合协调指数为被解释变量，以压力指数、状态指数、响应指数、创新指数、协调指数、绿色指数、开放指数和共享指数为解释变量的空间计量模型，进一步探究解释变量对协同性的影响程度。

#### 4.2.2 空间计量模型的设定与检验

空间计量模型根据空间内解释变量与被解释变量之间的影响关系主要分为种类型，第一种为空间滞后模型，侧重强调附近省区的被解释变量对本省区被解释变量的影响；第二种是空间误差模型，侧重强调附近省区解释变量对本省区解释变量的影响；第三种是空间杜宾模型，侧重强调附近省区被解释变量与解释变量对于本省区的影响。前两种模型的主要区别在于不同研究对象区域间的相关性，空间杜宾模型相较于前两种模型来说更为全面。具体公式如下：

空间滞后模型：

$$D_{it} = C + \rho W D_{it} + \beta_i X_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (4.5)$$

空间误差模型：

$$D_{it} = C + \beta_i X_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (4.6)$$

$$\varepsilon_{it} = \gamma W \varepsilon_{it} + \tau_{it} \quad (4.7)$$

空间杜宾模型：

$$D_{it} = C + \rho W D_{it} + \delta_i W X_{it} + \beta_i X_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (4.8)$$

其中  $D_{it}$  表示黄河流域生态保护与经济高质量协同发展指数， $X_{it}$  表示解释变量，分别表示压力指数、状态指数、响应指数、创新指数、协调指数、绿色指数、开放指数和共享指数。 $C$  表示常数项， $\rho$  表示空间自回归系数， $W$  表示空间权

重矩阵，与前文矩阵一致，均使用地理距离空间权重矩阵。 $WD_{it}$ 表示被解释变量即耦合协调指数的空间滞后项， $WX_{it}$ 表示解释变量的空间滞后项。 $\beta_i$ 和 $\delta_i$ 均为待估系数， $\mu_i$ 为个体效应， $\nu_t$ 为时间效应， $\varepsilon_{it}$ 为空间误差项， $\gamma$ 表示空间误差系数， $\tau_{it}$ 为误差项。

### 4.2.3 实证结果分析

#### 4.2.3.1 变量的相关性检验

实证结果分析之前，首先要对变量的可行性进行分析，将生态系统的压力、状态、响应指数和经济系统的创新、协调、绿色、开放、共享指数分别用 $x_1, x_2, \dots, x_8$ 表示。本文通过相关系数矩阵和方法膨胀因子检验变量的多重共线性问题。若相关性显著，表明变量之间有相互作用关系；若方差膨胀因子在一定范围内，表明变量间的相关性不至于过高，可进行模型设定。

表 4.3 相关系数矩阵

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	VIF
x1	1								2.09
x2	0.223**	1							4.44
x3	0.094	0.864***	1						4.13
x4	-0.216**	-0.469***	-0.376***	1					4.77
x5	-0.149	0.023	0.095	0.3853**	1				1.58
x6	-0.415***	0.035	-0.074	-0.394***	-0.148	1			2.20
x7	-0.382***	-0.639***	-0.498***	0.792***	0.178*	-0.252**	1		4.71
x8	-0.110	-0.252*	-0.1009**	0.799***	0.516***	-0.499***	0.656***	1	4.33

注：\*\*\*、\*\*、\*分别表示 1%、5%、10%双侧显著性水平。

其检验结果如表 4.3 所示，根据对变量间相关系数矩阵的观察，可以发现变量间的相关性大部分可以通过检验，表明选取的变量之间具有相关关系，通过对方差膨胀因子的观察发现，其值均小于 5，故认为变量之间不存在多重共线性，因此可以进一步进行模型的设定工作。

#### 4.2.3.2 模型估计结果与分析

通过检验空间计量模型的适用性以及解释变量的相关性之后，本文进一步采

用 LM 检验、Wald 检验、Hausman 检验和 LR 检验对模型进行具体选择与判别。通过模型的设定、内部适用性检验和内部效应的检验，根据表 4.4 模型检验结果，LM 空间误差检验和空间滞后检验的统计量和其稳健性检验的统计量均在 1% 的显著性水平下拒绝了原假设，即本文应适当考虑选择空间杜宾模型。接着经 Wald 检验判断模型是否会退化为空间滞后模型或者空间误差模型，经检验空间滞后统计量和空间误差统计量均在 1% 的显著性水平上拒绝原假设，又一次证明本文采用空间杜宾模型验证各因素对黄河流域生态与经济协同发展的影响的合理性。Hausman 检验判断空间杜宾模型中应选择固定效应还是随机效应，经检验发现，Hausman 检验结果统计量在 1% 显著性水平下拒绝原假设，即应选择固定效应进行分析。为确定固定效应是时间、空间还是双固定效应，本文进行了 LR 检验，根据检验结果发现时间和空间均在 1% 显著性水平下拒绝了原假设，即应选择双固定效应分析。因此，本文经过模型的使用性检验，综合考虑选择具有双固定效应的空间杜宾模型。

表 4.4 模型的适用性检验

检验	统计量
LM-Lag	9.869***
RLM-Lag	15.043***
LM-Error	7.470***
RLM-Error	7.998***
Wald-Lag	31.29***
LR-Lag	26.10***
Wald-Error	32.81***
LR-Error	25.74***
Hausman 检验	59.36***

注：\*\*\*、\*\*、\*分别表示 1%、5%、10% 双侧显著性水平。

空间杜宾模型的回归结果如表 4.5 所示，变量  $X_i$  和空间自回归系数  $Rho$  在 10% 显著性水平下通过检验，且空间自回归系数  $Rho$  不为 0，这表明影响因子对协同性在空间上存在空间溢出效应，各省区之间的协同性呈现出明显的空间异质性，与前文的分析一致。被解释变量的  $Rho$  为负表示耦合协调性区域整体上呈现出了负的空间自相关性，这与前文中局部莫兰指数检验中大部分省区呈现“高一高”“低—低”聚集现象相悖，这种现象的出现一方面是由于黄河流域九省区样本数量较少，另一方面是由于黄河流域上游地区中西北地区发展缓慢而西



南地区省份发展状况较好造成的“高一低”聚集状况，且中游地区陕西省要比另外两省区的差距大的多，这种不平衡的发展拉大了黄河流域省区间发展的差距，因此总体呈现负向的空间自相关性。

表 4.5 空间杜宾模型回归结果

变量	系数	变量	系数
x1	0.2511*** (15.62)	W*x1	-0.1710** (-2.41)
x2	0.2985*** (25.84)	W*x2	0.0173 (0.33)
x3	0.2934*** (34.30)	W*x3	0.0046 (0.10)
x4	0.4756*** (12.21)	W*x4	0.4141** (2.30)
x5	0.1823** (2.26)	W*x5	-0.0162 (-0.11)
x6	0.3714*** (23.89)	W*x6	-0.0979 (-1.20)
x7	0.4395*** (17.51)	W*x7	0.2448** (2.32)
x8	0.2560*** (7.18)	W*x8	-0.1937 (-1.38)
Rho	-0.4837*** (-2.68)	Sigma2_e	0.00000259*** (6.86)
R2	0.8732	Log-L	450.0571

注：\*\*\*、\*\*、\*分别表示 1%、5%、10%双侧显著性水平。

生态环境压力指数的回归系数为 0.2511，且在 1%水平上显著，压力指数的空间滞后系数为-0.1710，且在 5%水平上显著。这表明压力指数对本区域和周边区域的协同性均会产生影响，这是因为，对本区域来说通过对本区域资源的获取对生态造成的压力更大程度上会提升经济增长，促进本省区的协同发展，而周边省区的生产生活活动对本省区并无直接关联，但是造成的资源消耗的产生的环境代价却需要共同承担，所以其回归系数和空间滞后系数是合理的。

生态环境状态指数的回归系数为 0.2985，且在 1%水平上显著，状态指数的空间滞后系数为 0.0173，没有通过显著性检验。这表明状态指数是影响本省区协同性的重要因素，但是对周边省区的协同性发展没有影响，这是因为生态状况、本区域的要素的数量和质量仅会对本区域有较大的影响，而对周围省区的影响小。

生态环境响应指数的回归系数为 0.2934，且在 1%水平上显著，响应指数的

空间滞后系数为 0.0046，没有通过显著性检验。这表明响应指数对本省区的协同性发展会产生正向促进作用，对周围省区的协同性基本没有影响，这是因为人类对环境保护的积极响应措施终将会以另一种形式反馈给人类，将生态效益转变为经济效益时仅会正向影响本省区的效益，而对周围省区的影响作用不大。

创新指数的回归系数为 0.4756，且在 1%水平上显著，创新指数的空间滞后系数为 0.4141，且在 5%水平上显著。这表明创新指数对本省区和周围省区的协同性均表现为积极促进作用，这是因为本省区创新发展水平的提升会带动本省区资源高效率开发和利用，推动本省区高效能产出，提升协同发展水平。同时这种创新能力会辐射带动周边省区的发展，促进区域内和区域间协同发展。

协调指数的回归系数为 0.1823，且在 5%水平上显著，协调指数的空间滞后系数为-0.0162，没有通过显著性检验。这表明协调指数对本省区的协同性有显著正向影响，而对周边省区的影响不大，这是因为产业结构调整必须结合本省区的实际资源情况进行调整，因地制宜促进产业转型，这仅对本省区的发展有影响，而对周边省区来说，地理形态和资源状况是不尽相同的，因此并不会带动周边省区的产业结构调整 and 转型。

绿色指数的回归系数为 0.3714，且在 1%水平上显著，绿色指数的空间滞后系数为-0.0979，没有通过显著性检验。这表明绿色指数增长对促进本省区协同发展水平的提升，而对周边省区的发展并不明显，这是因为资源的利用开发和投资治理生态会提升本省区的经济状况、改善本省区的生态问题，有助于提升协同发展水平，但是这种影响对周边省区微乎其微。

开放指数的回归系数为 0.4395，且在 1%水平上显著，开放指数的空间滞后系数为 0.2448，且在 5%水平上显著。这表明开放指数对本省区和周边省区的协同性均呈现促进作用，这是因为开放的经济发展和文化的繁荣交流会促进本省区协同性水平，同时由于开放的环境要求和周边省区进行联动合作，因此对周围省区的协同性也有影响。

共享指数的回归系数为 0.2530，且在 1%水平上显著，共享指数的空间滞后系数为-0.1937，没有通过显著性检验。这表明共享指数仅对本省区的协同性有影响，不影响周边省区的协同性，这是因为本省区的基础保障设施和政策福利仅仅会优化本地区居民的生活，从而提升本地区的协同性，同时良好的共享设施和水

平会吸引周边区域人才资本的聚集，对周边省区的影响较小。

综上所述，可以发现生态环境压力、状态、响应指数和创新、协调、绿色、开放、共享指数对协同发展水平均有显著正向影响，其中压力指数、创新指数和开放指数对协同发展水平具有空间溢出效应。

本文进一步利用空间溢出效应的分解，更精确分析每个解释变量的影响作用，避免因空间滞后系数对模型造成误判。空间溢出总效应可以分解为直接效应和间接效应，直接效应是本省区范围内影响因素对协调性的平均影响，间接效应是周边省区影响因素对本省区协调性的平均影响，总效应是直接效应和间接效应的加总，因素对协同发展水平的综合影响。黄河流域九省区生态保护与经济高质量协同发展的影响因素的空间溢出效应分解如表 4.6 所示：

表 4.6 空间溢出效应分解

解释变量	直接效应	间接效应	总效应
x1	0.2551*** (15.74)	-0.1760*** (-2.90)	0.0791 (1.13)
x2	0.2981*** (26.66)	-0.0047 (-0.23)	0.2934*** (11.64)
x3	0.2947*** (36.21)	-0.0162 (-0.92)	0.2784*** (12.98)
x4	0.4673*** (11.36)	0.3630** (2.39)	0.8304*** (5.15)
x5	0.1857** (2.42)	-0.0301 (-0.24)	0.1556 (0.82)
x6	0.3745*** (23.96)	-0.1193** (-2.53)	0.2552*** (4.56)
x7	0.4354*** (16.59)	0.1999** (2.40)	0.6354*** (6.49)
x8	0.2578*** (7.70)	-0.2057 (-1.62)	0.0521 (0.35)

注：\*\*\*、\*\*、\*分别表示 1%、5%、10%双侧显著性水平。

由表 4.6 可知，压力指数的直接效应系数为 0.2551，间接效应系数为-0.1760，两者均在 1%显著性水平下通过检验，这表明压力指数对本省区协同性有显著正向促进作用，对周围省区协同性有显著机制作用，这是由于本省区通过资源获取达到经济增长目的，但是同时造成了生态环境恶化，生态环境与周边省区紧密向量，周边省区没有从中获得经济效益，反而需要同时承担生态压力，因此环境压力对本省区的协同性有正向影响，对周边省区的协同性有负向影响。

状态指数的直接效应系数为 0.2981, 在 1%显著性水平下通过检验, 间接效应系数未通过检验, 这表明状态指数对本省区协同发展有正向影响, 与周边省区协同发展无关, 这是由于本省区的生态环境状态影响其内部的协同运转, 但是对其余省区无影响, 而相对于整个流域本省区的生态状态构成总体状态, 会对流域整体产生影响。

响应指数的直接效应系数为 0.2947, 在 1%显著性水平下通过检验, 间接效应系数未通过检验, 这表明响应指数对本省区的协同发展有积极作用, 对周边省区无影响, 这是由于本省区的生态环境治理只对该省区起作用, 而对临近省区生态和经济均无影响, 黄河流域的生态响应需要集成各省区的力量。

创新指数的直接响应系数为 0.4673, 间接效应系数为 0.3630, 两者均通过显著性检验, 这表明创新能力的发展对省区内部和外部均有正向促进作用, 这是由于本省区科学技术的进步会联动辐射周围省区的科技进步, 进而提升流域整体生态保护和经济高质量协同发展。

协调指数的直接效应系数 0.1857, 通过显著性检验, 间接效应系数未通过检验, 这表明产业和城乡协调发展对本省区协同性的影响显著, 对周边省区的协同性影响不显著, 这可能是因为产业结构和城乡结构是一个区域化现象, 空间溢出效应不会随地理环境的扩大而发展变化。

绿色指数的直接效应系数为 0.3745, 间接效应的系数为-0.1193, 两者均通过显著性检验, 表明资源利用和治理投资对本省区的协同性有正向影响, 对周边省区的协同性为负向影响, 这是由于绿色产业的发展需要不同区域间的协调配合, 需要加强区域间的合作交流, 才能共同推进绿色产业的发展, 从而带动周边省区甚至整个流域的经济增长, 促进生态保护与经济协调发展。

开放指数的直接效应系数为 0.4354, 间接效应系数为 0.1999, 均通过显著性检验表明贸易投资和文化繁荣对本省区、临近省区和流域整体协同性具有正向促进作用, 这是由于一个地区的贸易投资会对周边省区的经济发展产生影响, 带动周边地区实现经济产业进步, 同时文化的传播和交流也是导致开放发展形成空间溢出效应的重要途径, 一个地区的政策措施、市场信息等都会对周边城市产生影响, 促进信息交流和知识传播。

共享指数的直接效应系数为 0.2578, 通过显著性检验, 而直接效应和间接效

应均未通过显著性检验，这表明共享对本省区的生态保护和经济高质量协同发展有显著正向促进作用，而对周边省区和流域整体无显著影响。这是由于共享经济模式仅能促进本省区基础设施的利用率，而周边省区无法共同享有基础公共设施，因此共享无明显的空间溢出效应。

综上所述，可以发现生态保护中的压力、状态、响应指数和经济高质量发展中的创新、协调、绿色、开放、共享指数均对生态保护和经济高质量协同发展有正向直接效应，压力、创新、绿色和开放指数对生态保护和经济高质量协同发展具有间接效应，压力的空间溢出影响为负，创新、绿色和开放的影响为正向，状态、响应、创新、绿色和开放指数的总效应显著，均为正向影响。

## 5 研究总结和展望

### 5.1 研究结论

为实现黄河流域生态保护和经济高质量协同发展,本文在梳理和定义生态和经济的相关内涵后,分别构建黄河流域生态系统和经济系统的指标体系,运用纵向拉开档次法分别测度生态和经济发展水平,采用耦合协调度模型测算二者协同发展水平,分析协同性的时空演变规律时采用核密度方法和 Dagum 基尼系数,根据 Markov 链确定其协调性的最终转移趋势,运用空间计量模型探究压力、状态、响应、创新、协调、绿色、开放和共享指数对耦合协调性的影响程度,最终得出以下结论:

黄河流域生态保护和经济高质量协同发展的评价。在生态保护方面,黄河流域生态保护综合指数整体呈现上升趋势,上、中、下游区域间的不平衡性较为突出,人类生产生活给黄河流域生态环境带来的压力有所增加,生态环境状态恶化,生态修复和环境治理取得成效。在经济高质量发展方面,黄河流域经济高质量发展综合指数呈现显著上升趋势,上中下游经济高质量发展存在明显的空间差异性,创新、协调和绿色指数呈上升趋势,开放和共享指数略微下降。在生态保护和经济高质量发展耦合协调性方面,黄河流域整体生态保护和经济高质量发展处于高耦合阶段、中低协调水平,耦合协调度处于初级、中级和良好阶段,上中下游耦合协调性发展不一致。在生态保护和经济高质量发展的同步情况方面,经济发展滞后的省区占比较大,主要集中在上中游地区,生态保护滞后占比较小,主要集中在中下游地区,只有河南省和陕西省实现过生态与经济同步发展。

黄河流域生态保护和经济高质量发展协同性的时空特征分析。在空间特征方面,其协同性呈现“东高西低”、“南高北低”的空间分布格局,具有空间异质性。在空间差异来源方面,协同性的空间差异性逐年减小,空间差异主要来源于区域间的差异,其中上游和下游之间的差异最大;区域内部差异占比较小,其中上游省区内部差异最大。在分布动态演进规律方面,黄河流域整体协同性分布位置中心点右移,主峰形态由宽峰变为窄峰,延展性“先变宽后变窄”,呈现明显的单峰分布,表明协同指数整体呈增大趋势,区域间差异减小。在长期转移趋势方面,协同性呈现出较强的路径依赖性,较低水平的跳跃性,长期向较高水平转

移趋于稳定，区域差异性会长期存在。

沿黄九省区生态保护和经济高质量发展的协同性影响因素分析。空间自相关性方面，协同性呈现空间依赖性，大部分省区呈现“高一高”“低一低”正向相关关系，小部分省区呈现“低一高”“高一低”负向相关关系。在影响因素方面，压力、状态、响应、创新、协调、绿色、开放、共享指数对本省区的协同性均有显著正向影响，其中压力、创新和开放的空间滞后项显著。在空间溢出效应分解方面，压力、创新、绿色和开放指数对协同性具有显著的空间溢出效应，除压力指数外其余指数为正向影响；状态、响应、创新、绿色和开放指数的总效应显著，均为正向影响。

## 5.2 政策建议

通过分析黄河流域生态保护和经济高质量发展协同性及其时空演变特征，进一步探究协同性的影响因素，为促进黄河流域生态保护和经济高质量区域内和区域间均协同发展，提出以下建议：

第一，因地制宜提升发展水平，推进黄河流域区域内生态保护和经济高质量发展协同发展。当前黄河流域九省区生态环境脆弱、经济发展滞后的问题还比较突出，要提升其生态与环境协同发展水平，必须因地制宜从生态和经济双向入手，同时提升各省区内部生态环境状况和经济发展质量，以此为抓手找到二者的平衡机制。

首先，要将生态修复治理作为黄河流域发展的首要举措。加大生态环境修复和保护力度，建立完善的生态补偿机制，加强环境监管，研发新型技术推动绿色产业发展，提高资源利用率。对黄河流域中下游来说，应注重生产生活造成的环境污染，鼓励企业实施清洁生产，推进节能减排技术，从而改善生态超负荷问题。对于黄河流域上游来说，应注重自然环境灾害带来的影响，构建生态保护屏障，加强生态系统修复与重建，加强水资源调动管理，推进水资源合理利用。

其次，要将经济高质量发展作为黄河流域发展活的源泉。黄河流域经济高质量发展要从创新、协调、绿色、开放和共享五个维度共同推进，因此要加大科技创新投入力度，尤其是中上游地区要加强研发人员投入和研发费用的投入，通过实施科技创新驱动战略加快产业结构转型，改变高污染高能耗的经济增长模式，

产业结构趋于高级化合理化,推动黄河流域高技术产业和生产服务业的发展,缩小城乡收入差距,完善市场资源化配置,引导人才、技术和资本倾向农村,减少能源消耗,加大治理投资力度,优化产业布局,发展绿色能源产业,扩大贸易投资,发展生态旅游业,促进文化传播,完善基础设施改善民生。

最后,统筹推进黄河流域区域内生态保护和经济高质量协同发展,要求将黄河流域的生态状况与经济发展质量融合在一起,立足实际情况。无法忽视经济发展对生态环境的影响,也不能以牺牲生态环境为代价来推进经济发展。保护生态就是为了促进生产力的提升,树立起绿水青山就是金山银山的理念。在发展的过程中同步保护,在保护中不停推动发展,促进绿色发展模式和生活方式的形成,将生态效益转化为经济和社会效益

第二,加强区域间合作交流,推进黄河流域区域间生态保护和经济高质量协同发展。黄河流域区域间协同性仍然呈现不平衡的发展趋势,导致上游地区经济发展缓慢,中下游地区生态环境滞后,区域间的发展的不平衡会加剧收入分配不均匀、产业结构失衡等问题。因此必须加强区域间的跨区域合作。

首先,将绿色发展视为推动黄河流域区域间协同发展的核心要求。推动绿色的发展,促进人与自然和谐共生,抛弃传统的高消耗、重污染、低效益发展模式,坚持走资源消耗低、环境污染少的新型工业化道路,完善绿色低碳转型机制,建立跨区域跨部门发展协调机制,绘制生态优先、绿色发展的新篇章。

其次,将科技创新视为促进黄河流域区域间协同发展的主要动力。在黄河流域各省区之间促进创新资源共享,发挥区域科技创新优势的作用,增强优势区域的科技创新能力,带动周边薄弱科技创新能力区域,促进区域间要素的跨区域流动,合理布局产业结构和创新资源,促进科技资源的有效利用,发挥科技创新空间溢出效应的正向积极作用。

最后,要以对外开放为重要抓手推动黄河流域区域间协同发展。要加速推进黄河流域内部大循环和国内国际双循环的新发展格局,重视“一带一路”发展机遇,发挥区位优势,依托中华传统文化,打造生态旅游区,大力发展招商引资和利用外资,构筑高水平对外开放新高地,不断拓展对外开放的深度与广度,促进共同繁荣发展。



### 5.3 研究展望

本文的研究成果可以为黄河流域整体提升生态环境质量和促进经济高质量发展提供理论依据，后续研究还可以从以下两个方面进行改进：

一方面，生态保护和经济高质量发展评价指标体系的构建是一个复杂的过程，在经济社会发展的不同时间阶段，生态保护和经济高质量发展的侧重点也会有所不同。限于自身的理解以及当前国内外对生态保护水平和经济高质量水平测度的评价指标体系选取并未形成统一规范的标准，因此构建指标体系的规范性、统一性和客观性还有待进一步研究。

另一方面，由于研究数据的局限性，本文选取的指标数据样本观测值年限较短，且由于生态环境指标数据的缺失有限，对其采取插补法或删除指标数据，会对后文协同发展水平及影响因素的测算产生一定影响，时间维度上数据的扩充以及数据的完整性会使实证结论更加可靠，因此后续还需要选取样本观测期更长的数据，选择更为精准的插补方法进行深入研究。此外，市域经济和县域经济也是研究的热点方向，后续研究可以扩展细化研究数据，更精准得出研究结论。

## 参考文献

- [1] Addai K, Serener B, Kirikkaleli D. Empirical analysis of the relationship among urbanization, economic growth and ecological footprint: evidence from eastern Europe[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(19): 27749-27760.
- [2] Althouse J, Guarini G, Porcile J G. Ecological macroeconomics in the open economy: Sustainability, unequal exchange and policy coordination in a center-periphery model[J]. *Ecological Economics*, 2020, 172(3): 106628.
- [3] Awan A, Azam M. Evaluating the impact of GDP per capita on environmental degradation for G-20 economies: does N-shaped environmental Kuznets curve exist?[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2022,24(10): 1-24.
- [4] Bieth R. The influence of gross domestic product and human development index on CO<sub>2</sub> emissions[C]. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2021, 1808(1): 12-34.
- [5] Brand-Correa L, Brook A, Büchs M, et al. Economics for people and planet—moving beyond the neoclassical paradigm[J]. *The Lancet Planetary Health*, 2022, 6(4): 371-379.
- [6] Brock W, Taylor M. The kindergarten rule of sustainable growth[J]. *Public Economics*, 2003, 70(9): 95-97.
- [7] Dogan E, Inglesi-Lotz R. The impact of economic structure to the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis: evidence from European countries[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(2): 12717-12724.
- [8] C Dou, L Zheng, W Wang, et al. Evaluation of urban environmental and economic coordination based on discrete mathematical model[J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 2021(5): 1-11.
- [9] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2): 353-377.
- [10] Jonathan K, Grubb M, Popp D, et al. The transition to endogenous technical change in climate-economy models: a technical overview to the innovation modeling comparison project[J]. *The Energy Journal*, 2006, 27(1): 17-56.
- [11] Q Kong, D Peng, Y Ni, et al. Trade openness and economic growth quality of China: Empirical analysis using ARDL model[J]. *Finance Research Letters*, 2021,

- 38(1): 101488.
- [12] T Ling, Ab-Rahim R, Mohd-Kamal K A. Trade openness and environmental degradation in asean-5 countries[J]. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 2020, 10(2): 691-707.
- [13] X Liu, Vu D, Perera S C, et al. Nexus between water-energy-carbon footprint network: Multiregional input-output and coupling coordination degree analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 430(11): 139639.
- [14] Lucchitta B, Croci E. Valuation methodologies of ecosystem services provided by NBS in Urban Areas[M]. *Nature-Based Solutions for More Sustainable Cities—A Framework Approach for Planning and Evaluation*. Emerald Publishing Limited, 2021: 187-198.
- [15] Markowska-Przybyła, U. Does social capital matter for total factor productivity? Exploratory Evidence from Poland. *Sustainability* 2020, 12(23): 9978.
- [16] McClelland D C. The achievement motive in economic growth[M]. *The Gap between Rich and Poor*. Routledge, 2019: 53-69.
- [17] Mlachila M, Tapsoba R, Tapsoba S J A. A quality of growth index for developing countries: a proposal[J]. *Social Indicators Research*, 2017, 134(9): 675-710.
- [18] Mohammed T. Empirical analysis of the environmental kuznets curve for atmospheric pollution and economic growth in algeria[J]. *Economic Review*, 2021, 50(3):241-268.
- [19] Naseem S, Mohsin M, Zia-UR-Rehman M, et al. The influence of energy consumption and economic growth on environmental degradation in BRICS countries: an application of the ARDL model and decoupling index[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021,29(2): 13042-13055.
- [20] Panayotou, Theodore. Economic growth and the environment[J]. *The Environment in Anthropology*, 2016, 24(7): 140-148.
- [21] Režný, Lukáš, and Vladimír Bureš. Energy transition scenarios and their economic impacts in the extended neoclassical model of economic growth[J]. *Sustainability*, 2019, 11(13): 36-44.
- [22] Roos M W M. Endogenous economic growth, climate change and societal values: A conceptual model[J]. *Computational Economics*, 2018, 52(9): 995-1028.
- [23] Sharma R, Sinha A, Kautish P. Examining the nexus between export diversification and environmental pollution: evidence from BRICS nations[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28(43): 61732-61747.

- [24] Tien N H. Relationship between inflation and economic growth in Vietnam[J]. Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT), 2021, 12(14): 5134-5139.
- [25] Turnbull J W, Johnston E L, Clark G F. Evaluating the social and ecological effectiveness of partially protected marine areas[J]. Conservation Biology, 2021, 35(3): 921-932.
- [26] H Xie, S Zhang, Y Wang, et al. The impact of e-commerce on environmental sustainability targets in selected European countries[J]. Economic Research-Ekonomska Istraživanja, 2023, 36(1): 230-242.
- [27] Y Cheng, Usama A, Shabbir A, et al. How do technological innovation and fiscal decentralization affect the environment? A story of the fourth industrial revolution and sustainable growth[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, 162(5): 120398.
- [28] 安欣,杨文茹,徐硕.黄河中游环境污染空间关联及协调发展仿真研究[J].环境污染与防治,2023,45(01):122-127.
- [29] 陈国宏,康艺苹,李美娟.区域科技创新能力动态评价—基于改进的“纵横向”拉开档次评价法[J].技术经济,2015,34(10):17-23.
- [30] 程涌泉,陈雨路,杨一增等.自然保护区生态旅游发展与开发的应对措施[J].环境工程,2023,41(04):275.
- [31] 陈明华,岳海珺,刘文斐.多维视角下长江经济带生态效率空间异质性及其成因[J].城市问题,2021,(05):61-72+93.
- [32] 段龙龙,王林梅.绿水青山保护有利于地区反贫困吗—来自长江经济带沿线贫困地区的新证据[J].贵州财经大学学报,2020,207(04):78-88.
- [33] 冯斐,冯学钢,侯经川等.经济增长、区域环境污染与环境规制有效性—基于京津冀地区的实证分析[J].资源科学,2020,42(12):2341-2353.
- [34] 高国力,贾若祥,王继源等.黄河流域生态保护和高质量发展的重要进展、综合评价及主要导向[J].兰州大学学报(社会科学版),2022,50(02):35-46.
- [35] 郭精军,马小雯,郑乐乐.黄河流域生态安全评价与高质量发展[M].北京:经济科学出版社, 2022:55-67.
- [36] 郭亚军.一种新的动态综合评价方法[J].管理科学学报,2002(02):49-54.
- [37] 韩兆安,赵景峰,吴海珍.中国省际数字经济规模测算、非均衡性与地区差异研

- 究[J].数量经济技术经济研究,2021,38(08):164-181.
- [38]陆大道,孙东琪.黄河流域的综合治理与可持续发展[J].地理学报,2019,74(12):2431-2436.
- [39]刘子西,席睿,黑正军等.宁夏沿黄城市带碳足迹及其关联关系研究[J].水资源与水工程学报,2023,34(02):1-8.
- [40]刘薇,张溪.绿色创新效率下经济与生态环境协调发展研究—以北京市为例[J].价格理论与实践,2020(03):26-29+102.
- [41]李元旭,曾铖.政府规模、技术创新与高质量发展—基于企业家精神的中介作用研究[J].复旦学报(社会科学版),2019,61(03):155-166.
- [42]李翔,华倩.经济增长与环境污染关系的实证检验[J].统计与决策,2016,452(08):131-133.
- [43]马小雯,郭精军.黄河流域生态安全评价及障碍因素研究[J].统计与决策,2023,39(08):63-68.
- [44]宁静,杨楠,杜国明等.区域农田生态系统碳足迹时空演变研究—以黑龙江省为例[J].中国农业大学学报,2023,28(06):98-112.
- [45]宁朝山,李绍东.黄河流域生态保护与经济发展协同度动态评价[J].人民黄河,2020,42(12):1-6.
- [46]任保平,付雅梅,杨羽宸.黄河流域九省区经济高质量发展的评价及路径选择[J].统计与信息论坛,2022,37(01):89-99.
- [47]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(02):119-129.
- [48]史歌.高质量发展背景下黄河流域生态补偿机制的建设思路[J].经济与管理评论,2023,39(02):49-58.
- [49]苏妮娜,朱先奇,史竹琴.技术共享对科技型中小企业协同创新联盟稳定性的影响[J].工业工程与管理,2020,25(02):118-124.
- [50]孙祁祥,周新发.科技创新与经济高质量发展[J].北京大学学报(哲学社会科学版),2020,57(03):140-149.
- [51]王陶,周启刚,毛永发等.基于碳收支的三峡库区生态补偿分区及测度研究[J].水土保持研究,2023,30(04):394-403.
- [52]王继军,李慧,苏鑫等.基于农户层次的陕北黄土丘陵区农业生态经济系统耦合

- 关系研究[J].自然资源学报,2010,25(11):1887-1896.
- [53]王淑佳,孔伟,任亮等.国内耦合协调度模型的误区及修正[J].自然资源学报,2021,36(03):793-810.
- [54]汪凌,邹建辉,刘淑敏.中国绿色经济发展水平测度、动态演进及空间效应研究[J].统计与决策,2023,39(18):97-102.
- [55]温婷,肖文彬,亓思楠.中国数字经济生产效率测度及其时空动态演进[J].统计与决策,2022,38(23):5-10.
- [56]武晓利,王丹,晁江锋.能源使用效率、经济增长与生态环境质量—基于包含碳排放的 DSGE 模型数值分析[J].技术经济与管理研究,2022,315(10):28-33.
- [57]夏锦文,吴先满,吕永刚等.江苏经济高质量发展“拐点”:内涵、态势及对策[J].现代经济探讨,2018,437(05):1-5.
- [58]徐军委.“双碳”目标下经济高质量发展与生态环境保护协同发展研究—以京津冀地区为例[J].经济体制改革,2023,238(01):61-69.
- [59]邢霞,修长百,刘玉春.基于水足迹理论的黄河流域水安全评价[J].中国农业资源与区划,2022,43(02):250-258.
- [60]余泳泽,杨晓章,张少辉.中国经济由高速增长向高质量发展的时空转换特征研究[J].数量经济技术经济研究,2019,36(06):3-21.
- [61]杨艳军,周可欣.金融支持生态文明与区域经济协同发展研究—以张家界市为例[J].湖北社会科学,2018(10):44-49.
- [62]杨林,高宏霞.经济增长是否能自动解决环境问题——倒 U 型环境库兹涅茨曲线是内生机制结果还是外部控制结果[J].中国人口·资源与环境,2012,22(08):160-165.
- [63]张金良.黄河流域生态保护和高质量发展水战略思考[J].人民黄河,2020,42(04):1-6.
- [64]张力隽,白云龙,田林等.沿黄城市群生态保护与高质量发展协同度研究[J].人民黄河,2022,44(04):15-19.
- [65]张立,唐洪雷.长三角城市生态经济协同发展水平测度研究[J].生态经济,2023,39(04):103-110.
- [66]张欢,成金华,陈军等.中国省域生态文明建设差异分析[J].中国人口·资源与环境,2014,24(06):22-29.

- [67]张雪薇,杜凤莲,申晓燕等.黄河流域经济-能源-生态-科技耦合协调发展时空格局及其影响因素[J].安全与环境学报,2023,23(07):2545-2556.
- [68]曾晨,刘艳芳,张万顺等.流域水生态承载力研究的起源和发展[J].长江流域资源与环境,2011,20(02):203-210.
- [69]钟家雨,柳思维.基于协同理论的湖南省旅游小城镇发展对策[J].经济地理,2012,32(07):159-164.
- [70]赵小峰,陈宗兴,霍学喜.”投入—产出”的协同进化效率研究—以陕西涉农职业院校为例[J].统计与信息论坛,2018,33(06):123-128.
- [71]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(01):159-171

## 致 谢

二十载求学之路，行文至此，思绪万千。时光飞逝，三年的研究生生活即将接入尾声，回顾两年来的点点滴滴，有过忙于学业的焦虑，有过师生同门间的欢乐，也有过对未来的迷茫和忧愁，这些经历一点一滴充实着我的人生，我的世界变得波澜而生动。在此我感激每一位在前行路上帮助过我的人，正是由于你们的出现，我才能成为更好的自己。

首先，最感谢的是我的恩师郭精军老师。饮水思其源，学成念吾师，何其有幸在 2017 年与郭老师相遇，成为老师带领的第一届本科生，在 2021 年正式加入老师的研究生团队，开始了研究生的漫漫研学路。非常感谢老师给我提供了一个学习的平台，让我加入了一个温暖的大家庭，让我在这个平台中不断学习知识，充实自我，在学习中收获快乐；非常感谢老师能在研究生学习的每个过程中严格把关，从学习方向的选择到确定，从组会的准备到讲解，从论文的撰写到反复打磨，老师专业的知识储备和严谨的学术造诣都深深影响着我；除了在学术上的指导，老师在生活中也给予了我们无微不至关怀，教会了我们为人处世的道理，给未来迷茫的我们提出针对性建议，亦师亦友，言传身教，受益匪浅。师者之风，山高水长。同时也非常感谢传道授业的各位老师，不断为我们输送解决问题的良药，让我在学习上有了更深的感悟。

其次，感谢在研究生学习期间遇到的每一位志同道合的朋友和优秀的同门师兄师姐和师弟师妹们，他们是伙伴，是知己，亦是战友，在我需要帮助的时候总能伸出援助之手，在我学习孤军奋战时总能鼎力相助，在我迷茫困惑时给我建议，遇到你们让我在枯燥的求学之路多了很多乐趣，让我的人生有了更多的方向，让我成为更好的自己。

最后，感谢我的家人对我研究生学习三年的默默支持。养育之恩无以为报，是父母的无私关爱、殷殷嘱托、教导支持、默默付出，才让我能有良好的成长环境，才让我能心无顾虑的专注学业，才让我能感受人世间的美好。

三年研究生生涯带给了我足够多美好记忆，是我最珍贵礼物，值得我一生回味。最后的最后，愿我们都能追寻到那心中的理想之光，愿我们都能登高壮观天地间，愿我们都能在现实的沉浮中找到内心的美好山海与驯静。