

安全与环境学报
Journal of Safety and Environment
ISSN 1009-6094, CN 11-4537/X

《安全与环境学报》网络首发论文

题目： 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
作者： 张雪薇，杜凤莲，申晓燕，宗刚
收稿日期： 2022-3-25

网络首发日期： 2022-10-19
引用格式： 张雪薇，杜凤莲，申晓燕，宗刚. 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/OL]. 安全与环境学报.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4537.x.20221014.1056.002.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

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

张雪薇^{1,2}；杜凤莲^{1,2}；申晓燕³；宗刚³

(1.内蒙古大学 经济管理学院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 2.内蒙古自治区地缘经济数据工程技术研究中心, 内蒙古 呼和浩特 010020; 3.北京工业大学 经济与管理学院, 北京 010010)

摘要：推动黄河流域生态保护和高质量发展具有重要的战略意义。本文基于高质量发展理念构建了经济—能源—生态—科技综合评价指标体系，运用熵值法对综合指数进行衡量，引入耦合协调模型测度了2005—2019年黄河流域地区经济—能源—生态—科技耦合协调度，借助ArcGIS方法分析耦合协调度时空格局，并构建空间计量模型进一步揭示其影响因素。研究结果表明：(1)从综合评价结果来看，黄河流域多数省份经济—能源—生态—科技发展水平呈现波动上升趋势，其中河南、四川综合发展水平上升幅度大于其他省份。(2)从耦合协调度来看，黄河流域经济—能源—生态—科技耦合协调度处于中高水平，大多数省份耦合协调程度呈现波动上升趋势。(3)在空间权重下黄河流域经济—能源—生态—科技耦合协调度存在显著的正向空间溢出效应，目标层指标中生态和能源是影响黄河流域耦合协调发展的重要因素，其中一级指标中经济质量、能源消费、环境治理、环境破坏和科技产出对耦合协调度影响相对较大。

关键词：环境学；黄河流域；经济—能源—生态—科技；耦合协调；空间计量模型

中图分类号：X22 **文献标志码：**A

0 引言

黄河流域是国家重要的能源基地和生态保护区域，其生态保护和高质量发展，具有重要的战略意义^[1]。2020年8月中共中央政治局审议的《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》和党的十九届五中全会明确提出了改善黄河流域生态环境，促进全流域高质量发展的战略目标。黄河流域地区存在生态环境脆弱、资源承载超限等问题，导致经济增长和生态保护的矛盾尤为突出，探究黄河流域经济增长、能源革命、生态保护和科技创新的耦合协调发展，对于贯彻落实“创新、协调、绿色、开放、共享”新发展理念，推动实现黄河流域地区生态保护和高质量发展具有重要的指导意义，并为黄河流域国家战略的顺利推进提供理论依据和技术支撑。

20世纪60年代以来，随着生态经济矛盾的出现，生态保护与经济发展引起了国内外学者的广泛关注，学术界展开了大量的研究。1966年，美国经济学家Kenneth E.Boulding^[2]首次正式提出了生态经济学概念，他认为由于全球经济增长进而带来气候变化、环境污染加剧、土地污染与土地退化、生物多样性减少等生态环境问题，导致生态系统和经济系统存在矛盾，在此基础上，提出了“生态经济协调理论”。20世纪80年代初，国内经济学家许涤新^[3]在1984年最先创立了生态经济学，认为要重视生态与经济的关系，促使经济政策同自然生态、地理环境相配合。已有文献对黄河流域生态保护和高质量发展做出了较多研究，主要从以下三个方面进行展开：一是研究黄河流域区域发展优势和生态保护，如王铮等^[4]通过进化经济学和进化经济地理学理论探讨了黄河流域区域发展优势，杨泽康等^[5]研究了黄河流域生态环境质量的时空格局与演变规律；二是研究黄河流域高质量发展，徐辉等^[6]最先测度了黄河流域9省区高质量发展水平，认为黄河流域高质量发展水平基本呈现“两边高、中间低”的空间分布，但差距逐年变小。如郭晗和任保平^[7]从空间治理体系和流域分工体系，研究了如何推进黄河流域高质量发展，王娟娟^[8]基于双循环视角研究了如何实现黄河流域产业链高质量发展，师博等^[9]测度了2004—2017年黄河流域77个地级以上城市经济高质量发展水平，研究了黄河流域发展的动态规律和特征；三是研究黄河流域生态保护和高质量发展的耦合关系，石涛^[10]最先探究了黄河流域生态保护与经济高质量发展的耦合协调关系，研究发现黄河流域经济生态耦合协调系数稳中有降，呈现集中均匀向相对分散的空间分布格局。如刘琳轲等^[11]利用VAR模型研究了黄河流域地区生态保护与高质量发展的耦合关系。韩梦涛等^[12]通过一致性模型分析了生态系统与经济发展的时空协调性。

总体来看，从高质量发展和生态保护视角研究黄河流域区域发展已经取得了十分丰富的成果，但是探究黄河流域经济、能源、生态和科技耦合协调发展的研究却相对较少。经济增长理论提出“科技进步是经济增长的源泉”，而且科技进步可以降低能源消耗和环境污染，科技创新是协调经济高质量发展、生态保护以及能源消耗三者相互作用、交互

收稿日期：2022-3-25

基金项目：国家自然科学基金项目(72104114)；国家自然科学基金项目(72163023)；内蒙古自治区教育厅基金(NJSY22333)；内蒙古大学高层次人才引进科研项目(10000-21311201/162)。

作者简介：张雪薇(1989—)，女，博士，内蒙古大学经济管理学院，讲师，研究方向：产业经济和区域经济；通讯作者：杜凤莲(1971—)，女，博士，内蒙古大学经济管理学院，教授，研究方向：区域经济与劳动经济。

耦合的重要手段。基于“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念，将经济、能源、生态、科技纳入统一框架下，能够更好地解决发展过程中存在的突出矛盾。经济—能源—生态—科技四元系统是多层次、非线性的动态系统，探究黄河流域经济发展、能源革命、生态保护和科技创新四元系统耦合协调发展，对黄河流域生态保护与经济高质量发展走互利共赢的可持续发展道路更具有现实指导意义。本文将在已有研究成果的基础上，深入研究黄河流域经济—能源—生态—科技耦合协调度的时空格局以及影响因素。本文后续安排如下：构建经济—能源—生态—科技综合评价指标体系，采用熵值法测算经济—能源—生态—科技综合指数，引入耦合度模型测算 2005—2019 年黄河流域省际耦合协调度；借助 ArcGIS 可视化耦合协调发展的空间分布格局，利用空间计量模型分析黄河流域经济—能源—生态—科技耦合协调发展的影响因素。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

黄河发源于中国青海省巴颜喀拉山脉，流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东 9 个省（区），注入渤海，干流河道全长 5464 公里。流域从西到东横跨青藏高原、内蒙古高原、黄土高原和黄淮海平原四个地貌单元，跨越东部、中部、西部三大经济地带。黄河流域共分为上、中、下游地区，内部地形、地势、气候等自然要素空间差异大，生态环境、能源分布、科技创新与区域经济发展水平不均衡，为了进一步考察黄河流域经济—能源—生态—科技耦合协调发展和空间分布格局，故选取该流域 9 个省（区）为研究对象^[13]。本文采取省级数据进行分析会造成实际情况偏大，但可以在一定程度上对重要性进行佐证。

1.2 数据来源与处理

经济系统数据来源于 2005—2019 年《中国统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》，能源系统数据来源于 2005—2019 年《中国能源统计年鉴》和《中国统计年鉴》，能源消费量转换为标准煤统计，能源折标准煤参考系数采用《中国能源统计年鉴-2014》的计算方法。生态系统数据来源于 2005—2019 年《中国环境统计年鉴》与《中国统计年鉴》。科技系统数据来源于 2005—2019 年《中国科技统计年鉴》和《中国火炬统计年鉴》。

2 研究方法

2.1 指标体系构建

本文借鉴已有指标体系相关成果^[14]，参照经济、能源、生态和科技耦合机理，本着科学性、完整性、代表性以及数据的可得性原则，构建涵盖经济、能源、生态、创新 4 个系统、11 个子系统、24 个具体指标的综合评价体系。经济发展子系统从经济规模、经济结构、经济质量 3 方面构建；能源革命子系统从能源消费、能源结构、能源建设 3 方面构建；生态保护子系统从环境破坏、环境治理、生态建设 3 方面构建；科技创新子系统从科技投入和科技产出 2 方面构建。

（1）经济发展

经济发展是高质量发展的核心，当前中国经济发展面临不平衡、不协调、不可持续等问题，亟需改善供求关系、优化经济结构、注重公平和效率。黄河流域地区要实现高质量发展，必须推动供给侧改革，加强与域外发展优势地区的合作，解决区域发展不平衡的问题^[15]。本文从经济规模、经济结构和经济质量等三个方面构建经济发展评价指标体系。

（2）能源革命

能源是一个国家经济社会发展最为关键的生产要素，是支撑经济高质量高发展的物质基础。在工业化发展进程中，黄河流域地区以能源化工为主的产业结构对生态承载力造成巨大压力，能源消耗已成为高质量发展的硬约束，高质量发展要求能源越来越清洁，单位能源投入产出越来越高^[16,17]，因此实现高质量发展必须进行能源革命，本文从能源消费、能源结构和能源建设等三个方面构建能源革命评价指标体系。

（3）生态保护

生态保护是经济高质量发展的必然要求。由于黄河流域地区被大规模开发，导致存在地表植被破坏、土地沙碱化、水资源紧缺等问题，其生态安全遭受到威胁，严重制约了高质量发展。生态保护逐渐成为黄河流域实现高质量发展的重要环节，因此必须完善资源开发生态保护刚性约束机制，落实“北方重要生态安全屏障”重要精神，本文从环境破坏、环境治理和生态建设等三个方面构建生态保护评价指标体系。

（4）科技创新

面临结构性扭曲、经济增速放缓、要素资源空间错配等问题时，依靠大量资本和劳动力等基本要素投入已经不能推动经济持续增长，要依靠创新驱动、结构调整的发展战略，推动中国经济现代化建设进程，所以必须大力培育新产业、新动能、

新增长极，转变经济增长动力，以技术创新驱动中国经济转型。本文从科技投入和科技产出等两个方面构建科技创新评价指标体系。

表 1 黄河流域经济—能源—生态—科技综合评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of economy - energy - ecology - science and technology in the Yellow River Basin

目标层	一级指标	二级指标	单位	指标属性	一级指标权重	二级指标权重
经济发展	经济规模	地区生产总值	亿元	+	0.2716	0.0535
		固定资产投资总额	亿元	+		0.0265
	经济结构	第二产业增加值	亿元	+		0.0520
		第三产业增加值	亿元	+		0.0564
	经济质量	GDP 增长率	%	+		0.0512
		居民人均消费水平	元	+		0.0321
能源革命	能源消费	煤炭消费总量	万吨标准煤	-	0.1762	0.0315
		能源消费总量	万吨标准煤	-		0.0179
	能源结构	煤炭占能源消费总量比重	%	-		0.0327
		能源消费总量占 GDP 比重	%	-		0.0220
	能源建设	国有经济能源固定资产投资	亿元	+		0.0365
		能源工业投资	亿元	+		0.0356
生态保护	环境破坏	工业废水排放量	万吨	-	0.1954	0.0229
		工业 SO ₂ 排放量	万吨	-		0.0272
	环境治理	工业固体废物综合利用率	%	+		0.0426
		生活垃圾无害化处理率	%	+		0.0197
	生态建设	绿地面积	公顷	+		0.0484
		森林覆盖率	%	+		0.0348
科技创新	科技投入	R&D 人员	人	+	0.3568	0.0545
		R&D 机构数	个	+		0.0313
		R&D 经费支出	万元	+		0.0672
	科技产出	发明专利申请数	项	+		0.0729
		发明专利授权数	项	+		0.0728
		技术市场成交额	万元	+		0.0580

2.2 熵值法赋权

综合评价方法通过建立多指标评价体系，对被评价的事物作出量化的总体判断，这种方法在经济统计分析中被广泛应用。在计算综合评价分值时，需要对系统中的各指标进行赋权。其中熵值法提供了一种客观赋权的处理办法，避免了主观赋权方法存在的随意性，使得权重更加科学客观^[18]。当各评价对象的某项指标值相差较大时，熵值较小，说明在评价指标体系中该指标的作用越大，其权重也相对较大；反之，当各评价对象的某项指标值相差较小时，熵值较大，在评价指标体系中该指标的作用较小，其权重也相对较小。该方法的具体过程为：

第一步：指标标准化。由于各指标单位存在差异性，先对指标进行标准化处理，本文构建的指标体系中，指标包含正向

指标和负向指标，具体公式如下：

$$x'_{ij} = \begin{cases} \frac{x_i - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \\ \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \end{cases} \quad (1)$$

其中， x_{ij} 表示地区 i 中指标 j 的样本值， \max 和 \min 表示样本值的最大值和最小值。评价指标对子系统的影响存在正向效应和负向效应，当指标越大对子系统的影响越好时，则为正向效应，反之则为负向效应。

第二步：确定各个指标权重。计算各个指标标准化后的比重 y_{ij} ，具体公式如下：

$$y_{ij} = x'_{ij} / \sum_{i=1}^m x'_{ij} \quad (2)$$

计算第 j 项指标的信息熵：

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^m (y_{ij} \ln y_{ij}) \quad (3)$$

计算第 j 项指标的信息效用值：

$$g_j = 1 - e_j \quad (4)$$

计算第 j 项指标的权重：

$$W_j = g_j / \sum_{j=1}^n g_j \quad (5)$$

第三步：计算第 i 个地区“经济—能源—生态—科技”的综合得分以及各个子系统得分，具体公式如下：

$$U_i = \sum_{j=1}^n W_j x'_{ij} \quad (6)$$

2.3 耦合协调度模型

引入耦合协调模型来测度经济、能源、生态和科技四个子系统之间的耦合协调度。“耦合”一词最早属于物理学概念，是指系统之间相互作用产生一定的影响。本文设有复合系统，包括经济、能源、生态和科技等子系统。经过数理推导，耦合度计算公式如下：

$$C = \left\{ \frac{U_{eco} \times U_{ene} \times U_{env} \times U_{tec}}{[(U_{eco} + U_{ene} + U_{env} + U_{tec})/4]^4} \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (7)$$

式中， C 表示耦合度， U_{eco} 、 U_{ene} 、 U_{env} 、 U_{tec} 分别表示经济系统、能源系统、生态系统和科技系统的综合发展得分，在计算出耦合度之后，建立耦合协调度模型，耦合协调度能够研究各个子系统之间的互动关系和协调发展情况。计算公式如下：

$$T(U_{eco}, U_{ene}, U_{env}, U_{tec}) = \beta_1 U_{eco} + \beta_2 U_{ene} + \beta_3 U_{env} + \beta_4 U_{tec} \quad (8)$$

$$D(U_{eco}, U_{ene}, U_{env}, U_{tec}) = \sqrt{C(U_{eco}, U_{ene}, U_{env}, U_{tec}) \times T(U_{eco}, U_{ene}, U_{env}, U_{tec})} \quad (9)$$

式中， T 表示复合系统之间的综合贡献指数； D 表示耦合协调度； β 为待定系数，该系数作为协调指数的权重表示复合系统之间相互补偿。由于权重的大小反映了复合系统的重要程度，因此本文参考方传棣等（2019）的研究做法^[19]，将经济、能源、生态和科技的系数均设定为 1/4，耦合协调度等级具体分类详见表 2。

表 2 耦合协调度等级评判标准

Table 2 Evaluation criteria of coupling coordination degree

耦合协调等级	区间范围	耦合协调等级	区间范围
极度失调 (I)	0.000 ≤ D < 0.100	勉强协调 (VI)	0.500 ≤ D < 0.600

严重失调 (II)	0.100≤D<0.200	初级协调 (VII)	0.600≤D<0.700
中度失调 (III)	0.200≤D<0.300	中级协调 (VIII)	0.700≤D<0.800
轻度失调 (IV)	0.300≤D<0.400	良性协调 (IX)	0.800≤D<0.900
濒临失调 (V)	0.400≤D<0.500	优质协调 (X)	0.900≤D≤1.000

2.4 逐步回归法

参考高新才等 (2016) 的逐步回归方法^[20], 筛选出对黄河流域经济—能源—生态—科技耦合协调发展贡献度大的影响因素, 本文构建空间杜宾模型对其各个指标进行逐步回归^[21], 首先分析目标层指标对耦合协调度的贡献度, 公式如下所示:

$$D_{it} = \rho_1 W \times D_{it} + \alpha_1 U_{eco,it} + \alpha_2 U_{ene,it} + \alpha_3 U_{env,it} + \alpha_4 U_{tec,it} + \phi_1 W \times U_{eco,it} + \phi_2 W \times U_{ene,it} + \phi_3 W \times U_{env,it} + \phi_4 W \times U_{tec,it} + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

为了进一步揭示一级指标对耦合协调度的显著性影响, 构建空间杜宾模型, 公式如下所示:

$$D_{it} = \rho_1 W \times D_{it} + \beta_1 J_{eco-sca,it} + \beta_2 J_{eco-str,it} + \beta_3 J_{eco-qua,it} + \beta_4 N_{ene-use,it} + \beta_5 N_{ene-str,it} + \beta_6 N_{ene-con,it} + \beta_7 S_{env-dam,it} + \beta_8 S_{env-gov,it} + \beta_9 S_{env-con,it} + \beta_{10} K_{tec-inv,it} + \beta_{11} K_{tec-out,it} + \phi_1 W \times J_{eco-sca,it} + \phi_2 W \times J_{eco-str,it} + \phi_3 W \times J_{eco-qua,it} + \phi_4 W \times N_{ene-use,it} + \phi_5 W \times N_{ene-str,it} + \phi_6 W \times N_{ene-con,it} + \phi_7 W \times S_{env-dam,it} + \phi_8 W \times S_{env-gov,it} + \phi_9 W \times S_{env-con,it} + \phi_{10} W \times K_{tec-inv,it} + \phi_{11} W \times K_{tec-out,it} + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

其中, D_{it} 表示耦合协调度, $J_{eco-sca}$ 、 $J_{eco-str}$ 、 $J_{eco-qua}$ 分别为经济规模、经济结构和经济质量; $N_{ene-use}$ 、 $N_{ene-str}$ 、 $N_{ene-con}$ 分别为能源消费、能源结构和能源建设; $S_{env-dam}$ 、 $S_{env-gov}$ 、 $S_{env-con}$ 分别表示环境破坏、环境治理和生态建设; $K_{tec-inv}$ 和 $K_{tec-out}$ 分别表示科技投入和科技产出。W 为空间权重矩阵, 本文采用 0-1 相邻和地理距离两个空间权重矩阵对模型进行检验。0-1 相邻空间权重设置遵循地理经济学第一定律, 即距离越大空间相关性越低, 若地区 i 与地区 j 有共同的边界, 如果相邻为 1, 不相邻为 0, 记为 0-1 相邻空间权重矩阵。由于不相邻的区域也可能存在很强的关联, 地理距离空间权重采用各省之间经纬度距离平方的倒数来设定。

3 经济—能源—生态—科技综合发展指数评价结果分析

根据表 1 构建的评价指标体系, 采用熵权法得到 2005—2019 年各个子系统指标的权重, 根据公式 (6) 计算黄河流域经济—能源—生态—科技综合发展指数以及各个子系统发展指数, 结果见表 3 和表 4, 由于篇幅所限, 只列出部分年限。

3.1 综合发展指数评价结果分析

从表 3 可以看出, 黄河流域各省份经济—能源—生态—科技综合指数存在较大差异。其中, 山东、河南、四川、陕西的经济—能源—生态—科技发展水平较高, 接近或超过了黄河流域的平均水平。其次是内蒙古、山西、甘肃、青海和宁夏。相对来说, 宁夏经济—能源—生态—科技发展水平较低。从动态变动趋势来看, 黄河流域大多数省份河南、四川、陕西、甘肃、青海、宁夏的经济—能源—生态—科技发展水平都呈现波动上升趋势, 尤其是河南、四川等省份, 经济—能源—生态—科技发展水平提升较为明显。

表 3 黄河流域经济—能源—生态—科技复合系统综合发展指数

Table 3 Comprehensive development Index of the economy-energy-ecology-science and technology complex system in the Yellow River Basin

省份	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2019
山西	0.217	0.228	0.239	0.250	0.242	0.231	0.186	0.200
内蒙古	0.260	0.283	0.293	0.286	0.277	0.245	0.216	0.215
山东	0.822	0.809	0.809	0.796	0.788	0.796	0.812	0.817
河南	0.427	0.471	0.469	0.453	0.474	0.499	0.560	0.684
四川	0.434	0.471	0.508	0.498	0.515	0.529	0.559	0.660
陕西	0.314	0.340	0.383	0.401	0.418	0.411	0.430	0.473
甘肃	0.201	0.216	0.217	0.208	0.219	0.208	0.199	0.209

青海	0.153	0.158	0.156	0.159	0.158	0.162	0.156	0.163
宁夏	0.139	0.143	0.148	0.144	0.143	0.144	0.142	0.136
黄河流域	0.330	0.346	0.358	0.355	0.359	0.359	0.362	0.395

3.2 子系统发展指数评价结果分析

从表 4 可以看出, 黄河流域经济子系统 2005—2019 年黄河流域经济子系统中大多数省份评价指数呈现上升趋势, 其中河南和陕西上升幅度相对较大, 这可能是因为河南作为“一带一路”倡议实施的支撑点, 其经济发展在基础能力建设、产业结构优化升级及向外向型经济发展等方面具有一定的优势, 而且陕西省积极发挥了“一带一路”建设的节点优势, 助推了西部地区经济高质量发展。能源子系统中除山东和河南, 其余各个省份的评价指数的波动幅度均不大, 这可能是因为黄河流域地区比较注重能源结构调整和煤炭等化石能源清洁高效利用, 使其能源系统处于平衡状态。生态子系统中各个省份的评价指数均呈现小幅度的上升趋势, 这说明坚持绿水青山就是金山银山的理念, 将黄河生态环境保护摆在重要的位置, 黄河流域生态质量稳步提升。科技子系统中河南、四川和陕西的评价指数呈现显著的上升趋势, 根据《中国区域科技创新评价报告 2021》显示, 河南、四川和陕西在第二梯队中排名相对靠前, 其中陕西科技创新水平在全国排名第 9 位, 西部第 2 位。内蒙古和青海属于第三梯队, 科技创新水平相对较低。

表 4 黄河流域经济、能源、生态和科技子系统评价指数

Table 4 Evaluation index of economy-energy-ecology-science and technology subsystems in the Yellow River Basin

子系统层	省份	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2019
经济子系统	山西	0.115	0.116	0.112	0.123	0.121	0.108	0.086	0.100
	内蒙古	0.120	0.143	0.163	0.172	0.166	0.138	0.105	0.107
	山东	0.556	0.553	0.554	0.553	0.557	0.558	0.556	0.553
	河南	0.277	0.311	0.311	0.308	0.325	0.335	0.359	0.456
	四川	0.202	0.217	0.244	0.246	0.258	0.254	0.273	0.361
	陕西	0.101	0.111	0.141	0.154	0.165	0.156	0.173	0.214
	甘肃	0.041	0.041	0.040	0.046	0.053	0.045	0.034	0.043
	青海	0.001	0.002	0.002	0.004	0.005	0.004	0.003	0.008
	宁夏	0.004	0.007	0.010	0.011	0.010	0.010	0.009	0.007
能源子系统	山西	0.027	0.033	0.041	0.049	0.041	0.048	0.024	0.025
	内蒙古	0.072	0.069	0.061	0.047	0.045	0.042	0.044	0.040
	山东	0.030	0.021	0.019	0.023	0.022	0.026	0.039	0.038
	河南	0.050	0.047	0.050	0.044	0.047	0.053	0.064	0.080
	四川	0.080	0.082	0.076	0.087	0.085	0.090	0.094	0.100
	陕西	0.083	0.085	0.084	0.082	0.079	0.075	0.076	0.080
	甘肃	0.081	0.083	0.087	0.085	0.088	0.083	0.081	0.081
	青海	0.090	0.090	0.089	0.090	0.090	0.091	0.090	0.095
	宁夏	0.076	0.076	0.077	0.073	0.069	0.072	0.069	0.065
生态子系统	山西	0.044	0.043	0.046	0.043	0.044	0.044	0.043	0.045
	内蒙古	0.047	0.047	0.046	0.048	0.047	0.047	0.050	0.050
	山东	0.037	0.038	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039
	河南	0.028	0.030	0.034	0.034	0.034	0.034	0.047	0.049
	四川	0.045	0.047	0.050	0.053	0.052	0.052	0.048	0.050
	陕西	0.055	0.055	0.057	0.059	0.060	0.060	0.063	0.061
	甘肃	0.053	0.055	0.055	0.053	0.054	0.054	0.057	0.057
	青海	0.062	0.062	0.060	0.062	0.061	0.061	0.060	0.060
	宁夏	0.057	0.057	0.059	0.060	0.063	0.063	0.061	0.061
科技子系统	山西	0.031	0.037	0.046	0.046	0.036	0.030	0.032	0.031
	内蒙古	0.021	0.024	0.046	0.046	0.019	0.016	0.017	0.017
	山东	0.198	0.197	0.039	0.039	0.171	0.174	0.178	0.188

河南	0.072	0.083	0.034	0.034	0.068	0.074	0.090	0.099
四川	0.107	0.126	0.050	0.050	0.120	0.130	0.144	0.149
陕西	0.075	0.088	0.057	0.057	0.114	0.116	0.118	0.117
甘肃	0.026	0.039	0.055	0.055	0.025	0.024	0.028	0.027
青海	0.000	0.004	0.060	0.060	0.002	0.003	0.003	0.001
宁夏	0.002	0.002	0.059	0.059	0.001	0.001	0.003	0.003

4 经济—能源—生态—科技耦合协调发展时空格局以及影响因素

4.1 耦合协调度时空格局

基于上文阐述的耦合协调度模型，计算得到 2005—2019 年黄河流域 9 个省（区）经济—能源—生态—科技的耦合协调度结果（表 5）。由表 5 可知，黄河流域耦合协调度由 2005 年的 0.343 提升到 2019 年的 0.600，并且大多数省份耦合协调度呈现上升趋势，但不同地区存在明显的差异，从 2005—2019 年，山西、内蒙古和山东耦合协调度呈现下降趋势，其余省份均呈现上升趋势，其中河南省耦合协调度大幅度提升，而且接近理想状态下的耦合协调，说明河南省经济、能源、生态、科技四个子系统之间互作用强、关联程度高。这可能是由于随着规划和政策的实施，在经济发展方面，河南省加大经济投入，在河南城市群、郑州都市圈强劲发力中，打造河南黄河流域新的增长点，在交通和通讯领域以及工业化进程取得了显著成效，通过运用“产业图谱+数据招商”，形成创新驱动和动力引擎，大幅度提升了能源资源利用效率，实现了新旧动能转换，同时推动绿色转型，破解了资源型经济转型难题，从而使得经济、能源、生态和科技四个系统之间的耦合协调水平较高。山西和内蒙古的耦合协调度下降，这可能是受到地理区位限制和生态环境质量低下等原因，导致内蒙古耦合协调类型由初级协调演变为中度失调。

表 5 黄河流域经济—能源—生态—科技耦合协调度测算结果

Table 5 Calculation results of coupling coordination degree of economy-energy-ecology- science and technology in the Yellow River Basin

耦合协调等级	省份	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2019
耦合协调度	山西	0.509	0.680	0.844	0.759	0.778	0.491	0.218	0.380
	内蒙古	0.607	0.692	0.614	0.550	0.507	0.355	0.365	0.300
	山东	0.496	0.445	0.475	0.493	0.399	0.613	0.746	0.498
	河南	0.242	0.422	0.470	0.222	0.377	0.551	0.791	0.990
	四川	0.200	0.471	0.417	0.575	0.632	0.737	0.743	0.910
	陕西	0.174	0.405	0.644	0.724	0.754	0.720	0.756	0.860
	甘肃	0.348	0.618	0.699	0.343	0.523	0.453	0.320	0.540
	青海	0.230	0.543	0.373	0.613	0.557	0.747	0.351	0.453
	宁夏	0.285	0.588	0.771	0.475	0.738	0.745	0.766	0.473
黄河流域	0.343	0.540	0.590	0.528	0.585	0.601	0.562	0.600	
耦合协调度类型	山西	勉强协调	初级协调	良好协调	中级协调	中级协调	濒临失调	中度失调	轻度失调
	内蒙古	初级协调	初级协调	初级协调	勉强协调	勉强协调	轻度失调	轻度失调	中度失调
	山东	濒临失调	濒临失调	濒临失调	濒临失调	轻度失调	初级协调	中级协调	濒临失调
	河南	中度失调	濒临失调	濒临失调	中度失调	轻度失调	勉强协调	中级协调	优质协调
	四川	中度失调	濒临失调	濒临失调	勉强协调	初级协调	中级协调	中级协调	优质协调
	陕西	严重失调	濒临失调	初级协调	中级协调	中级协调	中级协调	中级协调	良好协调
	甘肃	轻度失调	初级协调	初级协调	轻度失调	勉强协调	濒临失调	轻度失调	勉强协调
	青海	中度失调	勉强协调	轻度失调	初级协调	勉强协调	中级协调	轻度失调	濒临失调
	宁夏	中度失调	勉强协调	中级协调	濒临失调	中级协调	中级协调	中级协调	濒临失调
黄河流域	轻度失调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	勉强协调	初级协调	勉强协调	初级协调	

为了更直观地分析黄河流域 9 省区经济—能源—生态—科技耦合协调度时空格局，利用 ArcGIS 软件对 2005、2011、2015、2019 年黄河流域 9 个省（区）经济—能源—生态—科技耦合协调度的测算结果进行可视化分析，颜色越深代表耦合协调度

越高, 结果见图 1 所示。将黄河流域地区经济—能源—生态—科技耦合协调度数据与黄河流域地区矢量地图数据链接, 利用手动分类法, 将其分为 10 类。从图 1 可以看出, 在 2005 年山西和内蒙古处于协调阶段, 其他省份均处于失调阶段, 2010 年黄河流域各个省份耦合协调度相比 2005 年整体上均有所提升, 陕西和四川耦合协调度上升较快, 2015 年青海省耦合协调发展有明显改善, 由中度失调演变为中级协调, 2019 年, 四川、河南耦合协调发展态势良好, 均为优质协调。

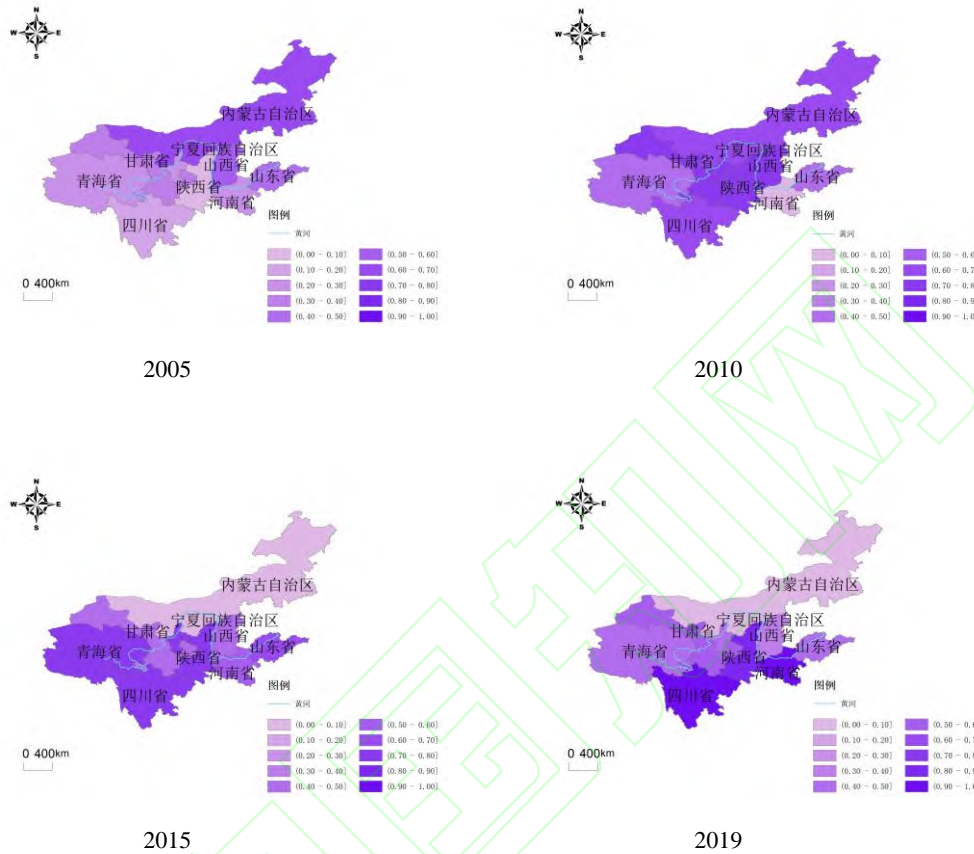


图 1 黄河流域地区经济—能源—生态—科技耦合协调度时空格局

Fig. 1 Spatial-temporal pattern of the coupling coordination degree of economy-energy-ecology-science and technology in the Yellow River Basin

4.2 耦合协调度时空格局的影响因素分析

为了揭示影响耦合协调度的原因, 本文利用 2005—2019 年黄河流域 9 个省(区)面板数据进行回归, 首先考察经济子系统 (U_{eco})、能源子系统 (U_{ene}) 和生态子系统 (U_{env}) 以及科技子系统 (U_{tec}) 对耦合协调度 (D) 的贡献程度, 具体结果见表 6。从表 6 可以看出, 耦合协调度的空间自回归系数 ρ 在 0-1 相邻空间权重和地理距离空间权重下均通过了显著性检验, 说明经济—能源—生态—科技耦合协调度存在显著的正向空间溢出效应。在两种空间权重矩阵下, 生态子系统和能源子系统的系数相对较大, 这表明生态指标和能源指标是影响黄河流域耦合协调度的重要因素。

表 6 目标层变量对黄河流域经济—能源—生态—科技耦合协调度的估计结果

Table 6 Estimation results of the coordination degree of economy-energy-ecology-science and technology on the target level variables in the Yellow River Basin

变量	系数	
	0-1 相邻空间权重矩阵	地理距离空间权重矩阵
U_{eco}	2.020*** (0.532)	2.037*** (0.586)
U_{ene}	8.545*** (1.344)	7.985*** (1.530)

U_{env}	12.67*** (3.240)	13.26*** (3.258)
U_{tec}	3.613*** (1.224)	3.610*** (1.258)
$W \times U_{eco}$	-0.0425 (0.718)	0.615 (1.181)
$W \times U_{ene}$	-3.923* (2.315)	-4.102 (5.150)
$W \times U_{env}$	-2.839 (3.913)	-4.929 (5.313)
$W \times U_{tec}$	-1.936 (1.770)	-1.519 (2.515)
$W \times D$	0.243** (0.098)	0.191* (0.104)
个体效应误差	0.009*** (0.001)	0.009*** (0.001)
N	135	135
R^2	0.052	0.054

注：括号内为检验统计值所对应的标准差，***、**和*分别表示为 1%、5%和 10%的显著性水平。

为进一步揭示一级指标对耦合协调度的显著性影响，将经济规模 ($J_{eco-sca}$)、经济结构 ($J_{eco-str}$)、经济质量 ($J_{eco-qua}$)、能源消费 ($N_{ene-use}$)、能源结构 ($N_{ene-str}$)、能源建设 ($N_{ene-con}$)、环境破坏 ($S_{env-dam}$)、环境治理 ($S_{env-gov}$)、生态建设 ($S_{env-con}$)、科技投入 ($K_{tec-inv}$)、科技产出 ($K_{tec-out}$) 引入模型中对耦合协调度 (D) 进行逐步回归，将影响因素的显著性水平设定为 0.05，作为筛选标准，具体结果见表 7。

表 7 中首先对 0-1 相邻空间权重矩阵和地理距离空间权重矩阵下经济子系统、能源子系统、生态子系统和科技子系统中全部变量对耦合协调度的影响进行估计，其次通过逐步回归方法筛选出影响黄河流域经济—能源—生态—科技耦合协调度最为显著的因素，可以看出在 0-1 相邻空间权重矩阵下影响耦合协调度最为显著的因素依次是能源建设、经济质量、环境治理、环境破坏、科技投入和科技产出，在地理距离空间权重矩阵下，依次是环境治理、经济质量、环境破坏、能源建设、能源消费和科技产出，说明无论哪种空间权重下经济质量、能源建设、环境治理、环境破坏和科技产出对耦合协调度的影响都至关重要，这为黄河流域生态保护和高质量发展指明了方向。

表 7 一级指标变量对黄河流域经济—能源—生态—科技耦合协调度的估计结果

Table 7 Estimation results of the coupling coordination degree of economy-energy-ecology-science and technology on the first-level indicator variables in the Yellow River Basin

变量	系数			
	0-1 相邻空间权重矩阵		地理距离空间权重矩阵	
	全部因素	显著因素	全部因素	显著因素
$J_{eco-sca}$	1.670 (1.472)		1.391 (1.498)	
$J_{eco-str}$	0.667 (1.230)		0.334 (1.316)	
$J_{eco-qua}$	12.070* (6.530)	19.490*** (6.114)	11.040* (6.235)	20.220*** (6.411)
$N_{ene-use}$	3.929 (2.436)		4.655** (2.239)	5.583*** (1.933)
$N_{ene-str}$	-1.628 (19.720)		10.310 (20.550)	
$N_{ene-con}$	16.060***	19.550***	18.110***	17.940***

	(2.785)	(2.636)	(3.033)	(2.817)
$S_{env-dam}$	12.550***	15.850***	12.620***	18.600***
	(3.977)	(3.376)	(3.947)	(3.444)
$S_{env-gov}$	17.010**	16.810**	10.860	24.240***
	(8.105)	(8.356)	(7.856)	(8.399)
$S_{env-con}$	11.650		11.610	
	(9.481)		(8.807)	
$K_{tec-inv}$	9.253*	14.370***	7.914	
	(5.608)	(4.619)	(5.494)	
$K_{tec-out}$	4.820***	4.861***	4.290***	4.677***
	(1.136)	(1.076)	(1.120)	(1.081)
$W \times J_{eco-sca}$	5.765***		11.390**	
	(2.126)		(3.201)	
$W \times J_{eco-str}$	-1.912		-1.513	
	(1.856)		(3.209)	
$W \times J_{eco-qua}$	7.411	-4.840	-7.445	0.245
	(11.620)	(10.28)	(13.31)	(13.10)
$W \times N_{ene-use}$	5.174		12.590*	6.880
	(4.031)		(7.167)	(6.345)
$W \times N_{ene-str}$	-87.810**		-37.080	
	(43.380)		(40.930)	
$W \times N_{ene-con}$	0.180	2.245	0.347	4.319
	(4.306)	(4.373)	(7.593)	(7.291)
$W \times S_{env-dam}$	-7.911	-2.523	-13.090	-19.240***
	(5.005)	(4.341)	(7.995)	(6.910)
$W \times S_{env-gov}$	20.220	13.930	-1.261	29.460**
	(12.790)	(12.090)	(13.590)	(13.190)
$W \times S_{env-con}$	-36.030**		-26.070	
	(16.030)		(28.770)	
$W \times K_{tec-inv}$	-23.300***	-21.770***	-51.820***	
	(8.952)	(6.554)	(17.630)	
$W \times K_{tec-out}$	0.869	-0.212	5.620**	3.069
	(1.686)	(1.737)	(2.576)	(2.819)
$W \times D$	-0.027	0.162*	-0.183	0.103
	(0.110)	(0.096)	(0.122)	(0.109)
个体效应误差	0.006***	0.008***	0.006***	0.008***
	(0.000)	(0.001)	(0.000)	(0.001)
N	135	135	135	135
R^2	0.079	0.131	0.064	0.339

注：括号内为检验统计值所对应的标准差，***、**和*分别表示为 1%、5%和 10%的显著性水平。

5 结论

本文以黄河流域为研究对象，以 9 个省（区）为基本评价单元，运用熵值法确定指标权重，测算了黄河流域省际经济—能源—生态—科技综合发展水平，引入耦合协调模型测度了 2005—2019 年黄河流域地区经济—能源—生态—科技耦合协调度，借助 ArcGIS 方法分析时空格局，并进一步揭示其影响因素，得出以下结论：

第一，从综合发展水平来看，黄河流域多数省份经济—能源—生态—科技发展水平呈现波动上升趋势，其中河南、四川

综合发展水平上升幅度大于其他省份。这是因为河南和四川地处“一带一路”倡议纽带和核心腹地，推动了华中地区和西南地区高质量发展。

第二，从耦合协调度发展来看，黄河流域耦合协调度呈现上升趋势，但不同地区存在异质性。2007年之后耦合协调度均值均在0.5以上，表明黄河流域地区的耦合协调度处于中高水平，黄河流域大多数省份呈现波动上升趋势，实现了经济稳定发展、能源消耗合理、生态环境改善和科技创新驱动的高质量发展。

第三，通过构建空间计量模型分析不同子系统对耦合协调度的贡献度，无论在0-1相邻空间权重矩阵和地理距离空间矩阵下对耦合协调度的贡献较大的子系统分别是生态子系统和能源子系统，其中经济质量、能源消费、环境治理、环境破坏和科技产出等因素作用较大。

参考文献：

[1] 陈明华, 岳海璐, 郝云飞, 刘文斐. 黄河流域生态效率的空间差异、动态演进及驱动因素[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(9): 25-44.

CHEN M H, YUE H J, HAO Y F, LIU W. The Spatial Disparity, Dynamic Evolution and Driving Factors of Ecological Efficiency[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2021, 38(9): 25-44.

[2] KENNETH E B. The Economics of the Coming Spaceship Earth: Environmental Quality in a Growing Economy [M]. Johns Hopkins University Press, 1996: 55-59.

[3] 许涤新. 农业生态经济的几个问题. 经济研究[J]. 经济研究, 1984(7): 32-36.

XU D X. Several Problems of Agricultural Ecological Economy[J]. Economic Research Journal, 1984(7): 32-36.

[4] 王铮, 丁冠群, 吴乐英等. 黄河流域区域发展优势与经济带生成可能[J]. 中国人口 资源与环境, 2021, 31(2): 111-118.

WANG Z, DING G Q. Regional development advantages of the Yellow River Basin and the possibility of economic zone formation[J]. China Population Resources and Environment, 2021, 31(2): 111-118.

[5] 杨泽康, 田佳, 李万源, 苏文瑞, 郭睿妍, 刘文娟. 黄河流域生态环境质量时空格局与演变趋势[J]. 生态学报, 2021, 41(19): 7627-7636.

YANG Z K, Tian J, Li W Y, Su W R, Guo R Y, Liu W J. Spatio-temporal Pattern and Evolution Trend of Ecological Environment Quality in the Yellow River Basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(19): 7627-7636.

[6] 徐辉, 师诺, 武玲玲, 张大伟. 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.

[7] 郭晗, 任保平. 黄河流域高质量发展的空间治理: 机理诠释与现实策略[J]. 改革, 2020, 314(4): 74-85.

GUO H, REN B P. Spatial Governance of High-quality Development in the Yellow River Basin: Mechanism Interpretation and Practical Strategies[J]. Reform, 2020, 314(4): 74-85.

[8] 王娟娟. 双循环视角下黄河流域的产业链高质量发展[J]. 甘肃社会科学, 2021(1): 49-56.

WANG J J. High Quality Development of the Industrial Chain in the Yellow River Basin from the Perspective of Double Circulation[J]. Gansu Social Sciences, 2021(1): 49-56.

[9] 师博, 何璐, 张文明. 黄河流域城市经济高质量发展的动态演进及趋势预测[J]. 经济问题, 2021(1): 1-8.

SHI B, HE L, ZHANG W M. Dynamic Evolution and Trend Prediction of High-quality Urban Economic Development in the Yellow River Basin[J]. On Economic Problems, 2021(1): 1-8.

[10] 石涛. 黄河流域生态保护与经济高质量发展耦合协调度及空间网络效应[J]. 区域经济评论, 2022(33): 25-34.

SHI T. Spatial Correlation Network and Regional Connected Effect of Coupling Coordination Degree between Ecological Protection and High-quality Economic Development in the Yellow River[J]. Regional Economic Review, 2022(33): 25-34.

[11] 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. 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.

[12] 韩梦涛, 涂建军, 徐桂萍等. 黄河流域水域生态系统服务与经济发展时空协调性[J]. 中国沙漠, 2021, 41(4): 167-176.

HAN M T, TU J J, XU G P. Spatio-temporal Coordination between Aquatic Ecosystem services and economic development in the Yellow River Basin[J]. Journal of Desert Research, 2021, 41(4): 167-176.

- [13] 于法隐, 方兰. 黄河流域生态保护和高质量发展的若干问题[J]. 中国软科学, 2020(6): 85-95.
YU F Y, FANG L. Issues Regarding the Ecological Protection and High-quality Development of Yellow River Basin[J]. China Soft Science, 2020(6):85-95.
- [14] 朱艳娜, 何刚, 张贵生, 杨洋. 皖江示范区新型城镇化与生态环境耦合协调及空间分异研究[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(6):2865-2874.
ZHU Y N, HE G, ZHANG G S, YANG Y. Coupling Coordination and Spatial Differentiation of New-type Urbanization and Ecological Environment in Wanjiang City belt[J]. Journal of Safety Environment, 2021, 21(6):2865-2874.
- [15] 魏敏, 李书昊. 新时代中国经济高质量发展水平的测度研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2018, 35(11): 3-20.
WEI M, LI S H. Study on the Measurement of Economic High-quality Development Level in China in the New Era[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2018, 35(11):3-20.
- [16] 韩君, 张慧楠. 中国经济高质量发展背景下区域能源消费的测度[J]. 数量经济技术经济研究, 2019, 36(7): 42-61.
HAN J, ZHANG H N. Measurement of Regional Energy Consumption under the Background of Economic High-quality Development in China[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2019, 36(7):42-61.
- [17] 陈诗一, 陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J]. 经济研究, 2018, 53(2): 20-34.
CHEN S Y, CHEN D K. Air Pollution, Government Regulations and High-quality Economic Development[J]. Economic Research Journal, 2018, 53(2):20-34.
- [18] LAUWERS L. Justifying the Incorporation of the Materials Balance Principle Into Frontier-based Eco-efficiency Models[J]. Ecological Economics, 2009, 68(6):1605-1614.
- [19] 方传棣, 成金华, 赵鹏大. 大保护战略下长江经济带矿产—经济—环境耦合协调度时空演化研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(6): 65-73.
FANG C D, CHENG J H, ZHAO P D. Temporal and Spatial Evolution of Mineral-Economic-Environment Coordination Degree in the Yangtze River Economic Belt under the Great Protection Strategy[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(6):65-73.
- [20] 高新才, 杨芳. 西北地区城镇化与生态环境耦合协调度测度[J]. 城市问题, 2016(12): 26-33.
GAO X C, YANG F. THE Coupling Coordination Development between urbanization and ecological environment in northwest China[J]. Urban Problems, 2016(12):26-33.
- [21] 艾小青, 张雪薇. 交通基础设施、生产性服务业发展与经济集聚——基于空间杜宾模型的实证研究[J]. 中南财经政法大学学报, 2020(01): 77-85.
AI X Q, ZHANG X W. Transport Infrastructure, Producer Services and Economic Agglomeration: An Empirical Analysis Based on the Spatial Durbin Model[J]. Journal of Zhongnan University of Economics, 2020(01):77-85.

The Coupling Coordination Development and Spatial Differentiation of Economy-Energy-Ecology-Science and Technology in the Yellow River Basin

ZHANG Xue-wei^{1,2}, DU Fei-lian^{1,2}, SHEN Xiao-yan³, ZONG Gang³

(1. School of Economics and Management, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China; 2. Research Center of Geo-economics Data and Engineering, Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010021, China; 3. School of Economics and Management, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: It is of great strategic significance to promote ecological protection and high-quality development of the Yellow River basin. Based on the concept of high quality development, a comprehensive evaluation index system of economy-energy-ecology-science and technology was constructed, and the comprehensive index was measured by entropy method. Then, the coupling coordination model was introduced to measure the coupling coordination degree of economy-energy-ecology-science and technology in the Yellow River Basin from 2005 to 2019. The spatial and temporal pattern of coupling coordination degree was analyzed by ArcGIS method, and the spatial econometric model was constructed to further reveal its influencing factors. The results show that: (1) From the comprehensive evaluation results, the development level of economy-energy-ecology-science and technology of most

provinces in the Yellow River basin showed a fluctuating upward trend, and the increase of the comprehensive development level of Henan and Sichuan was greater than that of other provinces. (2) From the perspective of coupling coordination degree, the coupling coordination degree of economy-energy-ecology-science and technology in the Yellow River Basin was at a medium-high level, and the coupling coordination degree of most provinces showed a trend of fluctuation and rise. After 2007, the mean value of coupling coordination degree was above 0.5, indicating that the coupling coordination degree in the Yellow River basin was at a medium-high level, and most provinces in the Yellow River basin showed an upward trend. (3) Under the spatial weight, coupling coordination degree of economy-energy-ecology-science and technology in the Yellow River had significant positive spatial spillover effects. Among the target level indicators, ecology and energy were important factors affecting the coupling and coordinated development of the Yellow River Basin. Among the first level indicators, economic quality, energy consumption, environmental governance, environmental damage and scientific and technological output had relatively greater impacts on the coupling coordination.

Key words: environmentology; Yellow River Basin; Economy-energy-ecology-science and technology; Coupling coordination; Spatial econometric model

CLC number: X22

Document code: A

Received: 2022-03-25

