

# 黄河流域城市群中国式现代化水平测度及其耦合协调性分析

高彪<sup>1a,2a</sup>, 陈娟丽<sup>2b</sup>, 师东晖<sup>1a</sup>, 黄立军<sup>1b</sup>

(1.宁夏大学 a.民族与历史学院;b.经济管理学院,银川 750021;  
2.绵阳师范学院 a.数字经济与管理学院;b.生命科学学院,四川 绵阳 621000)

**摘要:**以黄河流域7大城市群中的70个城市为研究样本,在构建中国式现代化评价指标体系的基础上,运用熵值法测算了2012—2022年黄河流域城市群中国式现代化及其各子系统的综合评分,并计算了其耦合协调度;然后运用核密度估计法、热点分析法和Dagum基尼系数分解法分析其动态演变及差异来源;最后,运用变异系数和空间收敛模型分析其收敛特征.结果表明:黄河流域城市群中国式现代化水平呈持续提升趋势,但其系统耦合协调水平普遍较低;黄河流域城市群中国式现代化系统耦合协调的差异呈整体下降局部波动特征.区域间差异是主要来源;黄河流域城市群中国式现代化系统耦合协调存在收敛特征,流域整体收敛速率最快,上游次之,中游居中,中游最慢,相应的半生命周期递增.

**关键词:**黄河流域;中国式现代化;核密度估计;Dagum基尼系数;空间收敛

**中图分类号:**F224.0

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-2367(2025)05-0034-11

现代化是工业革命以来人类社会实现的贯穿经济、社会、文明等各方面的变革过程,是人类文明发展的前沿.中国式现代化拓展了发展中国家走向现代化的选择.党的二十大报告提出要以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴<sup>[1]</sup>.黄河流域在我国生态安全、经济发展和文化传承等方面具有举足轻重的战略地位.研究黄河流域中国式现代化建设水平,明确其各子系统在推进过程中的耦合协调性,对于推进黄河流域高质量发展具有极其重要的意义.

为科学评价黄河流域中国式现代化建设水平,文章主要从中国式现代化的内涵要义、指标体系构建、水平测度及其耦合协调发展等方面进行文献梳理.

第一,内涵要义方面:研究认为,中国式现代化是我国在长期探索和实践基础上取得的重大创新突破,是马克思主义关于发展理论的最新成果<sup>[2]</sup>,是以人民为中心,实现全体人民共同富裕的现代化<sup>[3]</sup>.中国式现代化是一个系统工程,应根植于中国本土,呈现公正、效率、协调的经济伦理价值底蕴<sup>[4]</sup>.新阶段,应注重促进区域协调发展,高质量推进中国式现代化建设<sup>[5]</sup>.

第二,评价指标体系设定方面:中国式现代化的评价指标是依据现代化理论构建的评价指标的有机集合<sup>[6]</sup>.罗玉辉等<sup>[7]</sup>提出,中国式现代化立足于“人口规模巨大”基本国情和“共同富裕”目标,构建评价指标时应注重“双循环发展格局”构建,同时兼顾“人与自然和谐共生”的要义;秦柳<sup>[8]</sup>认为中国式现代化是多维度的并联式现代化,并从经济、科技、生态、社会、民生五维度构建了评价指标体系;王承哲<sup>[9]</sup>以马克思主义现代化

**收稿日期:**2024-05-28;**修回日期:**2024-07-11.

**基金项目:**国家社会科学基金(20CMZ029);绵阳师范学院科研博士启动项目(QD2021A02).

**作者简介:**高彪(1990—),男,甘肃庆阳人,宁夏大学博士研究生,研究方向为区域经济地理,E-mail:gaobiaoem@163.com.

**通信作者:**黄立军(1963—),男,宁夏中宁人,宁夏大学教授,博士生导师,研究方向为民族经济与区域发展战略,E-mail:hlj1963@163.com.

**引用本文:**高彪,陈娟丽,师东晖,等.黄河流域城市群中国式现代化水平测度及其耦合协调性分析[J].河南师范大学学报(自然科学版),2025,53(5):34-44.(Gao Biao, Chen Juanli, Shi Donghui, et al. The level measurement and coupling coordination analysis of Chinese modernization of urban agglomeration in the Yellow River Basin[J]. Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition), 2025, 53(5): 34-44. DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2024.05.28.0002.)

为理论指导,提出从经济发展、社会进程、城乡融合、生态文明、治理能力五方面构建评价指标;此外,也有部分学者以中国式现代化为背景,构建了区域现代化<sup>[10]</sup>、产业链现代化<sup>[11]</sup>等指标体系,为本文研究提供了理论参考。

第三,建设水平测度方面:既有文献主要聚焦基于不同研究尺度和研究对象两方面。基于全国和区域层面的代表性文献有:马晓河等<sup>[12]</sup>测度了全国层面的2007—2021年间中国式现代化水平,发现整体呈稳定上升趋势;马大晋等<sup>[13]</sup>基于2010—2021年中国31个省(区)的数据对中国式现代化水平进行测算,发现总体水平在不断提升,但各地区差异明显;区域层面,孙攀<sup>[14]</sup>以长江经济带四大城市群为研究样本,测度了中国式现代化水平,得出自东向西梯度逐渐下降的空间格局;李海央等<sup>[15]</sup>测度了长江流域67个城市的中国式现代化各子系统的现代化发展水平,发现存在区域间差异,但差异呈空间收敛;此外,也有部分学者对产业链现代化<sup>[16]</sup>、农业农村现代化<sup>[17]</sup>等做了探析,得出了相应的结论,为本研究开展提供了理论参考。

第四,中国式现代化系统的耦合协调研究:相关研究主要集中在纵向(中国式现代化系统耦合协调发展)和横向(促进区域协调)两个维度。纵向维度:研究认为,中国式现代化需重视发展的系统性和协调性<sup>[18]</sup>;横向维度:钱丽等<sup>[19]</sup>通过构建评价模型,探索了我国区域工业化、城镇化与农业现代化耦合协调度;孙久文等<sup>[20]</sup>分析了中国式现代化视域下促进区域协调发展的思路和目标等,提出了以区域协调发展助推中国式现代化建设;郑有贵<sup>[21]</sup>着眼于中国式现代化演进中不平衡不充分问题,设计了促进现代化全面协调发展路径。

综上,已有文献对中国式现代化做了深入的研究,但仍存在以下可拓展的空间。第一,既有文献多从理论层面展开,主要探讨中国式现代化建设的理论逻辑、核心要义及其与共同富裕、区域协调发展辩证关系,对建设水平和成效的实证研究较少;第二,已有实证研究多数研究尺度集中于全国和省域层面,对黄河流域的研究较少;第三,已有研究普遍较为宏观,缺乏对中国式现代化系统内部耦合协调性的关注,一定程度上影响系统化协同推进。

基于此,本研究立足于“城市是现代化的载体”这一论断<sup>[22]</sup>,以黄河流域七大城市群为研究样本,通过测算中国式现代化水平及其子系统的耦合协调度,分析其差异及其演化趋势,以期为黄河流域中国式现代化建设提供参考。本文的边际贡献主要在于:第一,应用交叉学科研究方法,并融入空间计量的细微阐述,丰富了中国式现代化实证研究体系;第二,以黄河流域七大城市群为研究样本,测算并分析黄河流域城市群的中国式现代化水平及其演化趋势,拓展了中国式现代化相关研究;第三,着眼于中国式现代化建设的系统性和协调性,在综合评价基础上分析其系统的耦合协调性和收敛特征,切入点更加细致,研究视角更加新颖。

## 1 研究区域概况

黄河流域覆盖范围包括我国青海等9个省(区)74个地级市<sup>[23]</sup>。当前,黄河流域范围内已获批的城市群有7个(兰西城市群、宁夏沿黄城市群、呼包鄂榆城市群、关中平原城市群、晋中城市群、中原城市群和山东半岛城市群)。考虑到数据可得性,最终将研究区域确定为流域内70个地级市。参照文献<sup>[24]</sup>中的黄河流域划分,将上述70个地级市划分为上游、中游和下游3类。

## 2 指标体系构建、数据来源与研究方法

### 2.1 指标体系构建

构建中国式现代化建设评价指标体系时,应注重经济、社会、城乡、生态和治理能力的协调性<sup>[21]</sup>。因此,本文参考李海央等<sup>[15]</sup>做法,构建了经济现代化、城市建设现代化、生态文明现代化、科学治理现代化4个子系统,共24个具体指标的中国式现代化评价指标体系。具体见表1。

### 2.2 数据来源

数据来源于2012—2022年间《中国城市统计年鉴》、黄河流域各省(区)、地市统计年鉴,以及经济社会和发展公报。其中,“效能”“法治”和“党风廉政”数据来源于百度搜索指数。部分缺失数据,采用插值法进行补齐。产值数据均以2012年为基期,剔除价格因素的影响,所有数据均作对数处理。

表 1 中国式现代化评价指标体系

Tab. 1 Evaluation Index System of Chinese path to modernization

一级指标	二级指标	三级指标	计算公式	指标属性	权重	
经济现代化	经济规模	人均地区生产总值	GDP/总人数	+	0.011 6	
		对外开放程度	外贸依存度	进出口总额/GDP	+	0.049 0
	经济结构与效率	产业结构合理化	泰尔指数的倒数		+	0.015 4
		产业结构高级化	第三产业产值/第二产业产值		+	0.014 8
		资本生产率	GDP/全社会固定资产投资额		+	0.026 0
	科创能力	劳动生产率	GDP/全部从业人员数量		+	0.011 7
		研发经费投入	R&D 经费支出/GDP		+	0.077 4
		发明专利授权数	专利授权数	+	0.074 7	
城市建设现代化	基础建设	人均城市道路面积	公路里程数/总人数	+	0.021 3	
		城市公共交通客运量	城市公共交通客运量	+	0.037 8	
		排水管道长度	排水管道长度	+	0.029 3	
		人均液化气使用量	液化气使用总量/使用人数	+	0.030 1	
	社会保障	平均在岗职工工资	在岗职工工资总额/在岗职工		+	0.005 0
		教育投入力度	教育经费支出/财政支出		+	0.015 3
		每万人卫生机构床位数	卫生机构总床位数/万人		+	0.188 3
城乡协调发展	城镇化率	城镇人口/常住人口	+	0.005 5		
生态文明现代化	生态破坏	工业粉尘排放量	工业粉尘排放量	-	0.000 1	
		工业二氧化硫排放量	工业二氧化硫排放量	-	0.001 6	
	生态保护	建成区绿化覆盖率	建成区绿化覆盖面积/建成区面积		+	0.002 6
		生活垃圾无害化处理率	无害化处理的垃圾量/总处理垃圾量		+	0.001 3
		污水处理厂集中处理率	集中污水处理量/总排量		+	0.295 4
科学治理现代化	政府效能	效能	公共服务支出/GDP	+	0.023 4	
	法治建设	法治	“法治”词频搜索量	+	0.033 0	
	党风廉政建设	党风廉政	“党风廉政”词频搜索量	+	0.029 4	

注:表格最后一列中的“+”表正向指标,“-”表负向指标.权重依据熵权法计算得到.

## 2.3 研究方法

### 2.3.1 熵权法

熵权法是综合评价中常用的经典方法之一.文章运用熵权法计算中国式现代化建设各维度指标权重及综合得分.鉴于篇幅原因,此处不再赘述,具体计算步骤可参考文献[12].

### 2.3.2 耦合协调度模型

国内部分学者在使用耦合模型时存在书写错误、丢失系数、错用权重误区.本文综合考虑模型的简洁性与实用性,借鉴王淑佳等<sup>[25]</sup>观点,采用下式为耦合度模型的规范公式:

$$D(U_1, U_2, U_3, U_4) = \sqrt{C(U_1, U_2, U_3, U_4) \times T(U_1, U_2, U_3, U_4)}, \quad (1)$$

式中,  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$  和  $U_4$  分别表示经济现代化、城市建设现代化、生态文明现代化、科学治理现代化的综合评分.  $D$  表示耦合协调度,  $C$  表示耦合度,  $T$  表示复合维度之间的综合贡献指数.耦合协调度划分在参照刘耀彬等<sup>[26]</sup>做法的基础上做了进一步细分:  $0 \leq D < 0.6$  为失调,  $0.6 \leq D < 1$  为协调, 每间隔 0.1 再做一次细分. 最终失调类型为: 极度、严重、中度、轻度、濒临和勉强 6 类; 协调类型为: 濒临、初级、中级和良好 4 类.

### 2.3.3 核密度估计法

核密度估计法是一种非参数估计方法.常用核密度函数主要包括三角核函数、四角核函数、高斯核函数等, 本文采用高斯核函数对黄河流域中国式现代化发展系统耦合协调的分布动态演进进行估计.核密度函数

如式(2)所示

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right), \quad (2)$$

式中,  $K(x)$  表示核密度,  $x$  为  $N$  个独立同分布观测值的均值. 鉴于篇幅, 具体计算步骤和参数可参考文献 [27].

### 2.3.4 Dagum 基尼系数及分解方法

Dagum 基尼系数能够描述系统相对差别的大小, 并识别差异来源. 根据 Dagum 的描述, 总体基尼系数  $G$  可分解为区域内差异的贡献  $G_w$ 、区域间净值差异的贡献  $G_{nb}$  和超变密度的贡献  $G_t$  三部分. 文章运用 Dagum 基尼系数识别, 黄河流域中国式现代化系统耦合协调度的相对差异及其来源, 总体基尼系数计算公式如式(3)所示:

$$G = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{2n^2 \uparrow \mu}, \quad (3)$$

式中,  $y_{ji}$  ( $y_{hr}$ ) 表示  $j$  ( $h$ ) 地区内任一城市中国式现代化的耦合协调度,  $\mu$  为所有地区均值.  $n_j$  ( $n_h$ ) 表示  $j$  ( $h$ ) 区域内的城市数. 鉴于篇幅原因, 具体计算步骤和指标含义见参考文献 [28].

### 2.3.5 热点分析法

热点分析是一种局部空间自相关指标, 可用于探查研究系统的高值或低值在空间上的聚集情况及其聚类方式. 一般使用 ArcGIS 软件中基于  $G_i^*$  统计指数来度量. 文章运用其呈现中国式现代化耦合协调度的空间集聚.  $G_i^*$  统计量计算公式如下:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j}{\sum_{j=1}^n x_j}, \quad (4)$$

式中,  $G_i^*$  为斑块  $i$  的集聚指数;  $w_{ij}$  是斑块  $i$  与  $j$  之间的权重矩阵;  $x_i$  和  $x_j$  是斑块  $i$ 、 $j$  的属性值;  $n$  为斑块总个数; 可通过标准化值  $Z$  判定低值区(冷点)和高值区(热点)的空间集聚, 鉴于篇幅原因, 具体计算步骤和指标含义参考文献 [29].

### 2.3.6 收敛模型

为进一步分析黄河流域中国式现代化系统耦合协调度区域差异的演变趋势, 采用收敛和收敛模型进行敛散性分析.

(1)  $\sigma$  收敛.  $\sigma$  收敛是对变量离散程度的直观描述, 常用的衡量指标主要有泰尔指数、变异系数和标准差, 本文选取变异系数法, 其公式为:

$$\sigma_{ij} = \frac{\sqrt{\sum_i^{N_j} (D_{ij} - \bar{D}_{ij})^2 / N_j}}{\bar{D}_{ij}}, \quad (5)$$

式中,  $j$  表示区域,  $i$  表示区域内城市,  $N_j$  表示区域内包含的城市数量,  $\bar{D}_{ij}$  表示区域  $j$  中国式现代化耦合协调度的平均值.

(2)  $\beta$  收敛.  $\beta$  收敛是指落后地区因具有更高的增长率, 逐渐追上发达地区, 达到以同样增长率发展的收敛状态. 本研究借鉴胡士华等 [30] 的做法, 构建空间  $\beta$  收敛模型组. 考虑空间效应的绝对  $\beta$  收敛公式如式 (6)~(8):

$$\ln\left(\frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}}\right) = \alpha + \beta \ln(D_{i,t}) + \rho \sum_{j=1}^N w_{ij} \ln\left(\frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}}\right) + u_i + v_t + \epsilon_{it}, \quad (6)$$

$$\ln\left(\frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}}\right) = \alpha + \beta \ln(D_{i,t}) + u_i + v_t + \epsilon_{it}, \epsilon_{it} = \lambda \sum_{j=1}^N w_{ij} \epsilon_{jt} + \sigma_{it}, \quad (7)$$

$$\ln\left(\frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}}\right) = \alpha + \beta \ln(D_{i,t}) + \rho \sum_{j=1}^N w_{ij} \ln\left(\frac{D_{i,t+1}}{D_{i,t}}\right) + \gamma \sum_{j=1}^N w_{ij} \ln(D_{j,t}) + u_i + v_t + \epsilon_{it}, \quad (8)$$

式中  $D$  表示系统耦合协调度,  $u_i$  表示地区效应,  $v_i$  表示时间效应,  $\varepsilon_{it}$  为随机干扰项;  $\beta$  为收敛系数, 若  $\beta < 0$  且通过显著性检验, 表明系统存在收敛特征, 否则为发散特征. 此外, 可通过系数  $\beta$  计算为达到稳态的收敛速度  $v$ , 计算公式如下:

$$v = -\frac{1}{t} \ln(1 - |\beta|). \quad (9)$$

### 3 实证分析

#### 3.1 测度结果

运用熵权法, 计算得到黄河流域城市群 2012—2022 年中国式现代化综合得分, 结果见表 2. 由表 2 可知, 黄河流域各城市群的中国式现代化水平总体呈上升趋势. 其中, 下游城市群中国式现代化水平最高, 其均值为 0.469, 中游城市群次之, 上游城市群最低, 其均值分别为 0.344 和 0.215. 具体来看, 上游城市群中, 综合得分最高的是呼包鄂榆城市群, 均值为 0.250, 其次为兰西城市群和宁夏沿黄城市群, 均值分别为 0.212 和 0.182; 中游城市群中, 关中平原城市群的综合得分最高, 均值为 0.432, 晋中城市群均值为 0.256; 下游城市群中, 中原城市群综合得分比山东半岛城市群高, 均值分别为 0.516 和 0.422, 但山东半岛的后发优势更强.

表 2 黄河流域城市群中国式现代化综合得分

Tab. 2 Chinese Modernization of Comprehensive score of urban agglomeration in the Yellow River basin

区域	城市群	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	均值
黄河上游	兰西	0.126	0.128	0.154	0.164	0.187	0.236	0.290	0.243	0.228	0.283	0.292	0.212
	呼包鄂榆	0.174	0.196	0.182	0.210	0.190	0.407	0.274	0.278	0.287	0.272	0.283	0.250
	宁夏沿黄	0.143	0.144	0.189	0.136	0.149	0.184	0.216	0.193	0.181	0.223	0.241	0.182
	均值	0.148	0.156	0.175	0.170	0.175	0.276	0.260	0.238	0.232	0.260	0.272	0.215
黄河中游	关中平原	0.312	0.459	0.577	0.339	0.383	0.448	0.517	0.436	0.447	0.406	0.427	0.432
	晋中	0.193	0.236	0.273	0.203	0.253	0.301	0.330	0.230	0.272	0.257	0.271	0.256
	均值	0.253	0.347	0.425	0.271	0.318	0.375	0.423	0.333	0.360	0.332	0.349	0.344
黄河下游	中原	0.387	0.430	0.505	0.461	0.453	0.558	0.609	0.600	0.573	0.541	0.554	0.516
	山东半岛	0.383	0.169	0.246	0.359	0.353	0.444	0.533	0.412	0.587	0.559	0.602	0.422
	均值	0.385	0.299	0.375	0.410	0.403	0.501	0.571	0.506	0.580	0.550	0.578	0.469

#### 3.2 系统耦合协调度

中国式现代化建设是一个系统工程, 上述结果反映的仅是中国式现代化的综合水平, 无法从系统的角度展现其发展的“内核”. 基于此, 引入耦合协调度模型测算不同年份各区域中国式现代化各子系统的耦合协调度<sup>①</sup>.

##### 3.2.1 城市群整体特征

耦合协调度计算结果表明, 黄河流域城市群中国式现代化系统耦合协调水平整体较低(均为失调状态), 但耦合协调度在持续上升, 表明其系统耦合协调性在改善. 从耦合协调度数值看, 各城市群系统耦合协调度最高为 0.451, 最低为 0.152, 均值为 0.268. 从上中下游看其大小依次为黄河下游(0.332)、黄河中游(0.285)、黄河上游(0.208), 说明黄河下游城市群的中国式现代化耦合协调水平最高, 中游次之, 上游最低. 同时, 不同区域表现出一定的异质性.

##### 3.2.2 不同城市群内城市分布演化

运用 ArcGIS 10.8.1 软件绘制了 2012—2022 年城市群内各城市的中国式现代化系统耦合协调的空间分布图(见附录图 S1). 图 S1 表明, 各城市的中国式现代化系统耦合协调水平存在较大差异, 但随着时间推移, 其耦合协调状态正逐步改善, 表现为图 S1 中为橙(红)色部分逐渐集聚、增多.

① 鉴于篇幅原因, 耦合协调度计算结果未在文中展示, 读者如有需要, 可向作者索取.

### 3.3 系统耦合协调的动态差异

为动态刻画黄河流域城市群中国式现代化系统耦合协调的演化状况,运用 MATLAB 2015b 软件对其城市群整体及上、中、下游城市群分别进行核密度估计,结果见图 1。

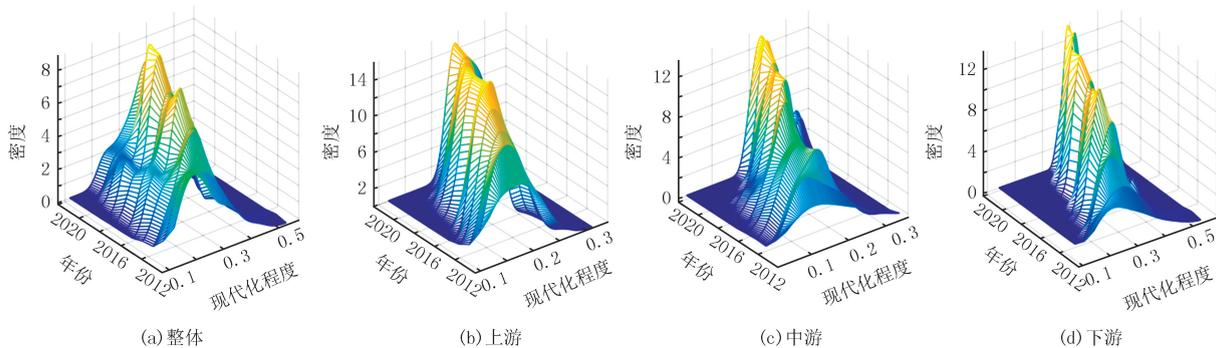


图1 2012—2022年黄河流域城市群中国式现代化系统耦合协调三维核密度图

Fig.1 Three dimensional nuclear density map of Chinese modernization system coupling coordination of urban agglomeration in the Yellow River basin from 2012 to 2022

#### 3.3.1 总体分布动态

由图 1(a)可知,核密度曲线存在如下特征:①研究期内的核密度曲线呈现逐渐右移的特征,表明系统耦合协调水平逐年提高,说明随时间推移,黄河流域城市群的经济、城市建设、生态文明和现代化治理的协调性不断增强;②核密度曲线的主峰宽度呈现逐渐收窄趋势,表明其系统耦合协调呈集中化趋势.2016年后出现双波峰,说明耦合协调性出现两极分化,此情况到 2020 年得到改善.③核密度曲线波峰高度呈先上升后下降,随后上升之后再下降的过程,且波峰宽度逐渐收窄,表明其系统耦合协调度差异先缩小,后微弱扩大,随后继续缩小.说明流域内各城市在经济、城市建设、生态文明、现代化治理上做到了齐头并进,全面发展。

#### 3.3.2 不同城市群城市分布动态

图 1(b-d)分别给出了上中下游城市群的核密度图,可以看出:①上中下游城市群的核密度曲线图均表现逐渐右移特征,下游城市群右移幅度最明显.表明各城市群中国式现代化系统耦合协调水平均取得了一定提升,但下游城市群提升幅度最大.②上中下游城市群的核密度曲线波峰呈逐渐收窄趋势.其中,上游城市群收窄趋势平稳,中游城市群在 2016 年后收窄较快,下游则从 2014 年后迅速收窄.表明各城市群在集中化发展方面表现不同.③上中下游城市群的核密度曲线波峰高度表现为上升,上游城市群表现平稳,中游城市群 2017 年后迅速上升,下游城市群则在 2013 年后上升明显,表明各城市群在耦合协调度的差异上响应程度不同。

### 3.4 系统耦合协调的空间分异

前文结论表明,黄河流域城市群中国式现代化系统耦合协调呈区域异质性,为进一步揭示其差异来源,借鉴杨明海等<sup>[31]</sup>的做法,运用 Dagum 基尼系数对其耦合协调度的相对差异进行测算并分解。

#### 3.4.1 总体差异

图 2 给出了系统耦合协调总体差异演变.从差异演变过程看,样本统计期内,总体基尼系数呈下降趋势,表明中国式现代化系统耦合协调差异逐渐减小;2021 年基尼系数较 2020 年略有上升,但幅度不大,此后又轻微下降.原因可能是疫情前后,流域内各地区忙于应对疫情防控和复工复产,城市之间在协调发展上“自顾不暇”。

#### 3.4.2 区域内差异

图 2 还给出了上中下游城市群的区域内差异演变.从各子群内部差异看,其基尼系数呈整体下降,局部波动特征.具体来看,2012—2014 年间,下游城市群的耦合协调差异最高,中游次之,上游最低.原因可能在于下游城市群某些城市(如青岛、郑州等)基础设施条件较好,经济社会协调发展能力高.中游城市群的西安市自身发展条件较好,但对其他城市的辐射带动效应有限,使得中游城市群中国式现代化耦合协调发展整体水平不高,但城市之间差异较小.上游城市群耦合协调差异最小.原因可能在于上游城市群各城市发展水平整

体较低,区域内未出现“极-核”带动型城市,中国式现代化系统耦合协调水平趋同.2015—2020年间,中游城市群区域内差异最大,上游次之,下游最低.原因可能在于下游城市群2015年后整体发展水平的迅速提升.如2016—2017年中原城市群和山东半岛城市群相继获批,在政策资金加持下,充足的发展势头使得其统筹性和协调性增强,耦合协调差异缩小.2020—2022年,上中下游城市群的差异轻微扩大.原因可能在于“疫情”中后期,各级政府忙于“复工复产”,对现代化建设关注不够,中国式现代化系统耦合协调差异扩大.

### 3.4.3 区域间差异

图3给出了系统耦合协调的区域间差异.从差异演变看,区域间差异整体减小,但具体差异各异.以中游和下游城市群为例,二者基尼系数从2012年的0.180下降至2020年的0.074.其中,2012—2015年基尼系数降幅达42.3%,差异最小,耦合协调程度最高,区域协调性明显增强.上游与中游城市群间的耦合协调差异亦整体缩小.2012年基尼系数为0.198,2021年则为0.142,但较上游与下游城市群间差异较小.上游与下游城市群间差异在缩小,但幅度不大,基本在0.20上下波动.这表明,随着城市群建设推进,二者在发展的协调性上的差距在缩小,但可能需要较长时间.

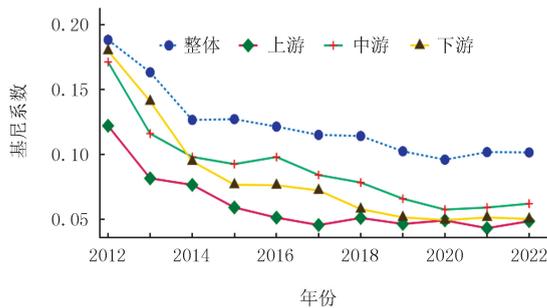


图2 黄河流域城市群总体及各子群内基尼系数演变

Fig.2 Overall and sub group Gini coefficient evolution of the Yellow River Basin urban agglomeration

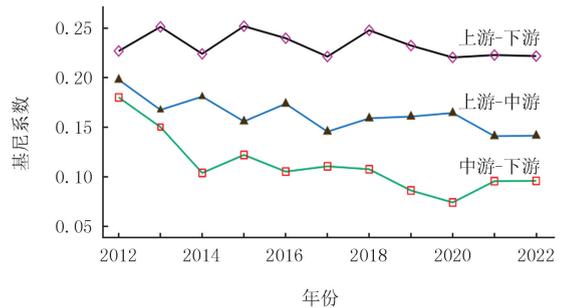


图3 黄河流域城市群子群间基尼系数演变

Fig.3 Evolution of Gini coefficient among subgroups of urban agglomerations in the Yellow River Basin

### 3.4.4 差异来源及其贡献

附录表 S1 给出了系统耦合协调的差异来源及贡献度.从差异的来源看,区域间差异是总体差异的主要来源,贡献度在 33.110%~73.054%之间.样本统计期内(除 2012 年外),区域间差异贡献度始终高于区域内差异贡献度和超变密度贡献度;区域内差异为第二来源,贡献度在 23.748%~43.338%;超变密度的贡献度最低,且呈波动下降趋势.

从差异来源的演变看,区域间差异贡献度持续增大.2012 年贡献度为 32.110%,之后持续上升,2021 年达到 73.054%,说明各城市群间的系统耦合协调差异在扩大;区域内差异贡献度逐渐下降,基本维持在 23%~24%之间;超变密度贡献度在波动减小.这表明,各城市群间的交叉重叠现象正在消失,超变密度贡献率在总基尼系数的增长中起到了负向作用.

## 3.5 系统耦合协调的收敛性分析

为进一步考察黄河流域城市群中国式现代化系统耦合协调的演变趋势,接下来分析区域差异的收敛机制.

### 3.5.1 收敛分析

对黄河流域城市群中国式现代化系统耦合协调度进行收敛检验,结果见图 4.从演变趋势看,各城市群的变异系数均呈下降趋势,这与上文的 Dagum 基尼系数的曲线走向基本一致.具体来看,城市群整体变异系数呈“快速下降-逐渐下降-轻微上升”特征.变异系数从 2012 年的 0.337 下降到 2022 年的 0.182.其中,2012—2014 年下降最快.上中下游城市群的变异系数和总体变异系数走势基本一致.样本统计期内,上游城市群变异系数从 0.215 下降到 0.078,中游从 0.312 下降到 0.111,下游从 0.319 下降到 0.090.变异系数的下降,表明黄河流域城市群中国式现代化耦合协调存在  $\sigma$  收敛.

### 3.5.2 空间相关性分析

收敛仅是对变量的离散程度随时间推移的描述,为进一步考察耦合协调度较低的地区追赶上较高的地区,使二者达到相同增长率的情况,需对变量做收敛检验.

在做 $\beta$ 收敛检验之前,先采用莫兰指数(Moran's I)计算其空间相关性。结果显示,全局莫兰指数均为正值,且通过5%的显著性水平检验(2012和2013年未通过,2014年通过10%的显著性检验),说明其系统耦合协调性存在一定的空间关联性,但关联程度不是很强。

为进一步揭示局部区域对全局空间相关性的贡献,运用ArcGIS 10.8.1软件计算并绘制了部分年份的区域空间关联指数Ge-tis-OrdG\*。根据自然间断分级法,将各区域划为极显著冷点、显著冷点、冷点、不显著、热点、显著热点和极显著热点,并对其进行空间可视化,结果见附图S2。总体来看,热点地区主要集中在下游城市群,中游城市群则部分为热点,上游城市群则全部为冷点区。从冷热点区面积看,热点区面积在逐年增大,冷点区面积则基本平稳,这表明黄河流域城市群中国式现代化系统耦合协调表现为空间集聚。

### 3.5.3 绝对 $\beta$ 收敛分析

上文全局莫兰指数和区域空间关联指数均表明黄河流域城市群中国式现代化系统耦合协调性存在一定空间关联。为此,基于空间计量模型对其进行 $\beta$ 收敛分析。具体为:莫兰指数检验后,需通过LM检验、Hausman检验、Wald检验和LR检验对模型进行筛选。结果显示,城市群整体通过了稳健的LM检验和Wald检验,但LR test-error统计量没有通过检验,说明SDM模型要退回到SEM模型或SAR模型,具体退回到哪个模型,可结合拟合优度、似然值和LM统计值大小确定。参考刘文革等<sup>[32]</sup>的做法,依LM检验结果得出的统计量大小确定,故选择双向固定效应的SEM模型。上游城市群通过了稳健的LM检验、Hausman检验和Wald检验,但未通过LR检验,模型回退到双向固定效应的SEM模型;中游城市群全部通过了LM检验、Hausman检验、Wald检验和LR检验,选用双向固定效应的SDM模型;下游城市群通过了稳健的LM检验、Hausman检验和Wald检验,但LR test-lag统计量未通过检验,模型回退到双向固定效应的SAR模型。作为对照,同时列出了SAR(SEM)模型的估计结果。

各模型的绝对收敛检验结果如附录表S2所示。总体来看,黄河流域整体及上中下游城市群的中国式现代化系统耦合协调的 $\beta$ 收敛系数均在1%的水平上显著为负,表明存在绝对 $\beta$ 收敛趋势,也即耦合协调性相对较低的区域较相对较高的区域拥有更高的增长率,促使各区域城市群最终增长速率趋同。其中,黄河流域整体的收敛系数绝对值最大,上游次之,下游居中,中游最低,这与上文 $\sigma$ 收敛分析结论基本一致。

就收敛速率和半生命周期而言,黄河流域城市群整体的收敛速率( $v$ )高于其他区域,其收敛速率由大到小依次可表示为“城市群整体”“上游城市群”“下游城市群”、“中游城市群”,相应的半生命周期递增。从空间滞后项系数 $\rho$ 来看,黄河流域整体及中下游城市群的 $\rho$ 均显著为负,表明区域内城市群中国式现代化系统的耦合协调存在明显的竞争关系,即某一城市群对各类资源的“虹吸效应”,促使本地区耦合协调度提升的同时,会对邻近城市群的耦合协调性产生负向空间溢出效应。从空间误差项回归系数 $\lambda$ 来看,黄河上游城市群的回归系数在1%水平上显著为正,表明上游城市群内部城市的中国式现代化系统耦合协调性存在空间依赖性;从 $\sigma^2$ 残差方差来看,残差方差数值都较小,这也有效解释了绝对 $\beta$ 收敛的趋势。

## 4 结论及建议

### 4.1 结论

文章构建了中国式现代化评价指标体系,采用熵值法测算了2012—2022年黄河流域城市群的中国式现代化及其各子系统综合评分,借助耦合协调度模型计算了其系统耦合协调度指数,并采用核密度估计法、热点分析法和Dagum基尼系数分解法分析了其耦合协调的动态演变趋势,最后引入收敛模型,探讨了系统耦

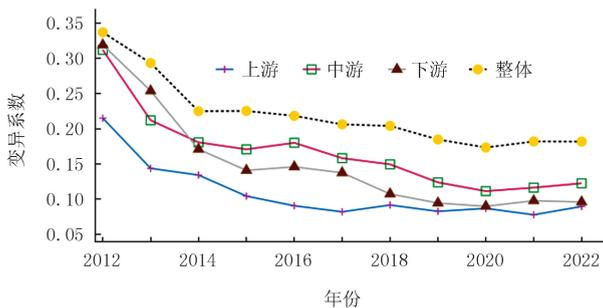


图4 中国式现代化耦合协调度变异系数

Fig. 4 Variation coefficient of coupling and coordination of Chinese modernization

合协调的收敛趋势.结论如下:第一,黄河流域城市群中国式现代化综合得分总体呈上升趋势,但其系统的耦合协调水平低(均处于失调状态).总体来看,上游城市群中国式现代化综合得分最高,中游城市群次之,上游城市群最低.从系统的耦合协调度均值看,下游城市群耦合协调度均值最高,中游城市群次之,上游城市群最低;第二,核密度估计结果表明,系统耦合协调的核密度曲线总体呈波峰右移、收窄、高度上升特征,但局部仍有波动.其中,下游城市群波峰右移、收窄、高度上升最明显,且各城市群主峰分布形态各异;第三,从差异演变看,系统耦合协调差异均呈整体下降、局部波动趋势.从差异来源看,区域间差异是总体差异的主要来源,区域内差异为第二来源,超变密度的贡献度最低,且呈波动下降趋势.从差异来源的演变看,区域间差异贡献度持续增大,区域内差异贡献度和超变密度波动下降;第四,从收敛特征看,各城市群的 $\sigma$ 变异系数均为波动下降, $\sigma$ 收敛趋势明显,冷热点分析表明其分布呈空间集聚态势.同时,其系统耦合协调度呈空间 $\beta$ 绝对收敛.黄河流域整体收敛速率最快,上游城市群次之,下游居中,中游最慢,相应的半生命周期递增.

## 4.2 建议

基于上述结论,提出以下政策建议:第一,以城市群功能分工推动黄河流域城市群中国式现代化水平提升.黄河流域七大城市群在发展过程中,应走功能互补和差异化发展之路.兰西城市群以“一带一路”为契机,培育和建设具有地域特色的新型城镇化载体;呼包鄂榆城市群应推动资源型城市转型,依托黄河水道,建设沿黄生态文化经济带和生态综合治理区;宁夏沿黄城市群做好地域特色名片,建设好西部大开发的新支点;关中平原城市群和晋中城市群则坚持以军民融合、文旅融合和生态文明建设先行区为引领建设国家西北地区发展增长极;中原城市群应聚焦于发展先进制造业和现代服务业,建设好中西部创新创业和绿色生态发展示范区;山东半岛城市群应发展医药、电子信息、智能制造等实现和加强产业集聚,增强黄河流域城市群的龙头带动作用.第二,以培育和发展新质生产力引领黄河流域城市群中国式现代化协调发展.黄河流域城市群发展基础薄弱,技术效率普遍不高.通过科技赋能,培育和发展新质生产力,以科技创新赋能中国式现代化实现.第三,以城乡融合高质量发展助推黄河流域城市群中国式现代化建设.黄河流域城市群内部发展差异较大,各城市群应学习运用“千万工程”经验,因地制宜重塑本地区乡村发展和治理模式,以城乡融合推动中国式现代化建设.第四,以生态环境保护统筹黄河流域城市群中国式现代化协调发展.黄河流域城市群大多还处于工业经济发展的关键时期,要践行绿色发展理念,统筹好经济发展和环境保护,减少工业经济对环境的负面效益.同时,探索建立权责明晰、协同治理的跨区域合作体系,发挥节点城市的辐射和带动作用,缩小区域发展差距,促进区域协调发展.

附录见电子版(DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2024.05.28.0002).

## 参 考 文 献

- [1] 习近平.高举中国特色社会主义伟大旗帜为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗:在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[M].北京:人民出版社,2022.
- [2] 郭冠清.中国式现代化创造人类文明新形态的发展逻辑:基于马克思主义政治经济学视角[J].经济纵横,2024(5):21-33.  
GUO G Q.Logic of Chinese path to modernization creating a new form of human civilization:from the perspective of Marxist political economics[J].Economic Review Journal,2024(5):21-33.
- [3] 李义平.马克思经济社会发展理论与中国式现代化[J].中国工业经济,2024(4):5-16.  
LI Y P.Guide Chinese modernization with Marx's theory of economic and social development[J].China Industrial Economics,2024(4):5-16.
- [4] 牛文浩.公正、效率、协调:中国式现代化的经济伦理价值底蕴研究[J].湖南社会科学,2024(2):29-35.  
NIU W H.Justice,efficiency and coordination:a study on the economic and ethical value of Chinese modernization[J].Social Sciences in Hunan,2024(2):29-35.
- [5] 陈劲,朱子钦,杨硕,等.全面创新:制度视角的概念、框架与政策启示[J].创新科技,2023,23(10):1-12.  
CHEN J,ZHU Z Q,YANG S,et al.Total Innovation: Concepts, Frameworks and Policy Implications from an Institutional Perspective [J].Innovation Science and Technology,2023,23(10):1-12.
- [6] 康风云,麦中坚.中国式现代化:探索历程、基本特征和实践要求[J].江西师范大学学报(哲学社会科学版),2023,56(1):11-18.  
KANG F Y,MAI Z J.Chinese-style modernization:exploration course,basic characteristics and practical requirements[J].Journal of Jiangxi Normal University(Philosophy and Social Sciences Edition),2023,56(1):11-18.

- [7] 罗玉辉,侯为民,李邦旺.中国式经济现代化的评价体系构建及实现路径[J].管理学报,2024,37(2):52-69.  
LUO Y H,HOU W M,LI B W.Construction and implementation path of evaluation system for Chinese path to economic modernization [J].Journal of Management,2024,37(2):52-69.
- [8] 秦柳.中国式现代化评价指标体系的构建与实证[J].统计与决策,2024,40(8):46-50.  
QIN L.Construction of evaluation index system of Chinese path to modernization and empirical study[J].Statistics & Decision,2024,40(8):46-50.
- [9] 王承哲.构建中国式现代化评价指标体系的若干重大问题[J].科学社会主义,2023(5):4-11.  
WANG C Z.Some important problems in constructing the evaluation index system of Chinese modernization[J].Scientific Socialism,2023(5):4-11.
- [10] 魏杰,刘丽娜,马云霞,等.黄河中下游河南省高质量发展与生态环境耦合协调度时空格局研究[J].河南师范大学学报(自然科学版),2022,50(2):48-57.  
WEI J,LIU L N,MA Y X,et al.Spatial temporal pattern of coupling coordination degree between high quality development and ecological environment in Henan Province in the middle and lower reaches of the Yellow River[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2022,50(2):48-57.
- [11] 毛冰.中国产业链现代化水平指标体系构建与综合测度[J].经济体制改革,2022(2):114-120.  
MAO B.Construction of index system and comprehensive measurement of China's industrial chain modernization level[J].Reform of Economic System,2022(2):114-120.
- [12] 马晓河,周婉冰.中国式现代化:评价指标体系构建及统计测度[J].贵州社会科学,2023(8):105-115.  
MA X H,ZHOU W B.Chinese modernization:the construction of evaluation index system and statistical measurement[J].Guizhou Social Sciences,2023(8):105-115.
- [13] 马大晋,吴旭辉,杨亚琼.中国式现代化:水平测算、演变格局与收敛规律[J].统计与决策,2024,40(5):100-105.  
MA D J,WU X H,YANG Y Q.Chinese path to modernization:level measurement,evolution pattern and convergence law[J].Statistics & Decision,2024,40(5):100-105.
- [14] 孙攀.长江经济带中国式现代化的时空差异及分布演进研究[J].长江流域资源与环境,2024,33(7):1369-1381.  
SUN P.A study on the spatio-temporal disparities and evolution of distribution of Chinese-style modernization in the Yangtze River economic belt[J].Resources and Environment in the Yangtze Basin,2024,33(7):1369-1381.
- [15] 李海央,许雨辰,柴正猛.长江经济带现代化发展水平测度及耦合协调性分析[J].统计与决策,2023,39(9):74-79.  
LI H Y,XU Y C,CHAI Z M.Measurement and coupling coordination analysis of modernization development level in Yangtze River Economic Belt[J].Statistics & Decision,2023,39(9):74-79.
- [16] 蔡乌赶,许凤茹.中国制造业产业链现代化水平的测度[J].统计与决策,2021,37(21):108-112.  
CAI W G,XU F R.Measurement of modernization level of manufacturing industry chain in China[J].Statistics & Decision,2021,37(21):108-112.
- [17] 谢会强,王涵,谭宇航.中国农业农村现代化发展水平的时空演变特征及区域差异研究[J].世界农业,2023(3):85-96.  
XIE H Q,WANG H,TAN Y H.Spatial-temporal evolution characteristics and regional differences of agricultural and rural modernization development level in China[J].World Agriculture,2023(3):85-96.
- [18] 中国式现代化研究课题组,高培勇,黄群慧.中国式现代化的理论认识、经济前景与战略任务[J].经济研究,2022,57(8):26-39.
- [19] 钱丽,陈忠卫,肖仁桥.中国区域工业化、城镇化与农业现代化耦合协调度及其影响因素研究[J].经济问题探索,2012(11):10-17.  
QIAN L,CHEN Z W,XIAO R Q.Study on coupling coordination degree of regional industrialization,urbanization and agricultural modernization in China and its influencing factors[J].Inquiry into Economic Issues,2012(11):10-17.
- [20] 孙久文,王邹,蒋治.中国式现代化视域下的区域协调发展[J].北京行政学院学报,2023(3):1-10.  
SUN J W,WANG Z,JIANG Z.Regional coordinated development from the perspective of Chinese-style modernization[J].Journal of Beijing Administration Institute,2023(3):1-10.
- [21] 郑有贵.中国式现代化演进中破解不平衡不充分发展问题的路径[J].中南财经政法大学学报,2022(6):3-13.  
ZHENG Y G.The path to solve the problem of unbalanced and inadequate development in the evolution of Chinese modernization[J].Journal of Zhongnan University of Economics and Law,2022(6):3-13.
- [22] 余杰,钱振明.面向中国式现代化的城市高质量发展:五大维度和三重尺度下的实践向度[J].当代经济管理,2024,46(3):1-13.  
YU J,QIAN Z M.High-quality urban development towards Chinese-style modernization:practical orientations based on five dimensions and triple scales[J].Contemporary Economic Management,2024,46(3):1-13.
- [23] 张仲伍,苏雨冉,胡世雄.黄河流域生态—旅游—文化耦合协调及驱动因素研究[J].河南师范大学学报(自然科学版),2023,51(3):32-41.  
ZHANG Z W,SU Y R,HU S X.Research on the coordination and driving factors of ecological-tourism-culture coupling in the Yellow River Basin[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2023,51(3):32-41.
- [24] 郭晗.黄河流域高质量发展中的可持续发展与生态环境保护[J].人文杂志,2020(1):17-21.

- GUO H. Sustainable development and ecological environment protection in the high-quality development of the Yellow River Basin[J]. *The Journal of Humanities*, 2020(1): 17-21.
- [25] 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(3): 793-810.  
WANG S J, KONG W, REN L, et al. Research on misuses and modification of coupling coordination degree model in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(3): 793-810.
- [26] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(1): 105-112.  
LIU Y B, LI R D, SONG X F. Analysis of coupling degrees of urbanization and ecological environment in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(1): 105-112.
- [27] 刘亦文, 欧阳莹, 蔡宏宇. 中国农业绿色全要素生产率测度及时空演化特征研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2021, 38(5): 39-56.  
LIU Y W, OUYANG Y, CAI H Y. Evaluation of China's agricultural green TFP and its spatiotemporal evolution characteristics[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2021, 38(5): 39-56.
- [28] DAGUM C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio[J]. *Empirical Economics*, 1997, 22(4): 515-531.
- [29] 姜磊, 柏玲, 吴玉鸣. 中国省域经济、资源与环境协调分析: 兼论三系统耦合公式及其扩展形式[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(5): 788-799.  
JIANG L, BAI L, WU Y M. Coupling and coordinating degrees of provincial economy, resources and environment in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(5): 788-799.
- [30] 胡士华, 黄天鉴, 王楷. 数字经济与绿色经济协同发展: 时空分异、动态演进与收敛特征[J]. *现代财经(天津财经大学学报)*, 2022, 42(9): 3-19.  
HU S H, HUANG T J, WANG K. Coordinated development of digital economy and green economy: characteristics of temporal and spatial differentiation, dynamic evolution and convergence[J]. *Modern Finance (Economics-Journal of Tianjin University of Finance and Economics)*, 2022, 42(9): 3-19.
- [31] 杨明海, 张红霞, 孙亚男. 七大城市群创新能力的区域差距及其分布动态演进[J]. *数量经济技术经济研究*, 2017, 34(3): 21-39.  
YANG M H, ZHANG H X, SUN Y N. Regional disparity and distributional dynamic evolution of the innovation ability in seven Chinese megalopolises[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2017, 34(3): 21-39.
- [32] 刘文革, 何斐然, 赵亮. 中国收入分配水平的区域差异及收敛性研究: 基于高质量发展视角[J]. *经济问题探索*, 2024(6): 19-36.  
LIU W G, HE F R, ZHAO L. Regional Difference and Convergence of Income Distribution in China: Based on High Quality Development Perspective[J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2024(6): 19-36.

## The level measurement and coupling coordination analysis of Chinese modernization of urban agglomeration in the Yellow River Basin

Gao Biao<sup>1a,2a</sup>, Chen Juanli<sup>2b</sup>, Shi Donghui<sup>1a</sup>, Huang Lijun<sup>1b</sup>

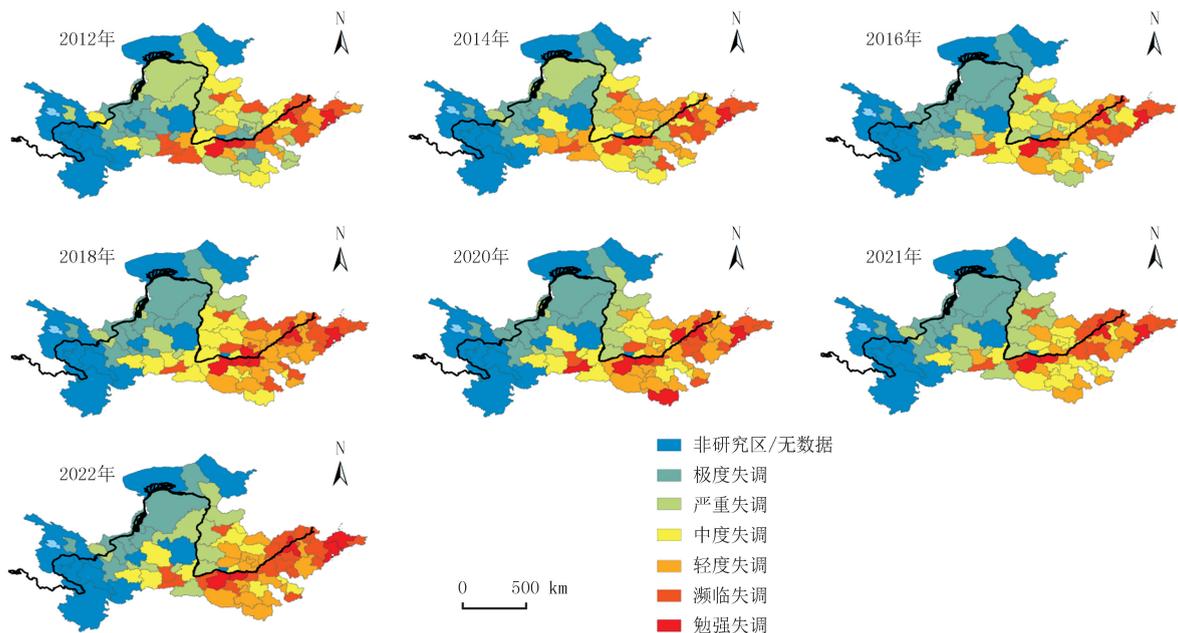
(1. a. School of Ethnology and Historiography; b. School of Economics and Management, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. a. College of Digital Economics & Management; b. School of Life Sciences, Mianyang Teachers' College, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** Taking 70 cities in the seven major urban agglomerations in the Yellow River Basin as research samples, based on the construction of the evaluation index system of Chinese Modernization, the entropy method is used to calculate the comprehensive score of Chinese Modernization and its subsystems in the Yellow River Basin urban agglomeration from 2012 to 2022, and calculate its coupling coordination; Then, the dynamic evolution and sources of differences were analyzed using Kernel kernel density estimation, hotspot analysis, and Dagum Gini coefficient decomposition methods; Finally, the convergence characteristics were analyzed using the coefficient of variation and spatial convergence model. The results indicates: first, the regional dimension analysis of Chinese style modernization shows that the level of Chinese style modernization in the Yellow River Basin urban agglomeration is continuously improving, but its level of system coupling and coordination is generally low; Second, the differences in the coupling and coordination of Chinese modernization in the urban agglomeration of the Yellow River Basin are characterized by overall decline and local fluctuations. Regional differences are the main source; Third, the coupling and coordination of Chinese path to modernization in the urban agglomeration of the Yellow River Basin has convergence characteristics. The overall convergence speed of the urban agglomeration is the fastest, followed by the upstream, the downstream is in the middle, and the midstream is the slowest, with the corresponding half life cycle increasing.

**Keywords:** Yellow River Basin; Chinese modernization; kernel density; Dagum Gini coefficient; spatial convergence

[责任编辑 陈留院 杨浦]

# 附录



注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2024)0650号的标准地图制作,底图无修改。

图S1 黄河流域城市群中国式现代化耦合协调分布

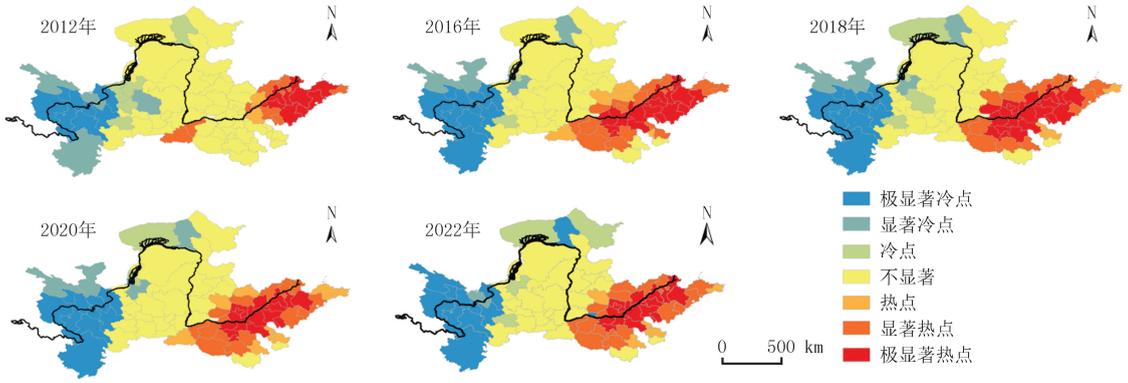
Fig.S1 Chinese modernization coupling and coordination distribution of urban agglomeration in the Yellow River basin

表 S1 中国式现代化耦合协调的差异来源及贡献

Tab. S1 The difference sources and contributions of coupling and coordination of Chinese modernization

年份	$G$			$G_w$			$G_{nb}$		$G_t / \%$	
	总体	上游	中游	下游	下-中	下-上	中-上	区域内	区域间	超变密度
2012	0.188	0.122	0.171	0.180	0.180	0.227	0.198	43.338	32.110	24.552
2013	0.163	0.082	0.116	0.141	0.150	0.251	0.168	39.235	49.947	10.818
2014	0.127	0.077	0.098	0.095	0.104	0.224	0.181	34.630	52.822	12.548
2015	0.127	0.059	0.093	0.077	0.122	0.252	0.156	28.829	66.922	4.249
2016	0.121	0.051	0.098	0.076	0.105	0.240	0.174	29.924	62.010	8.066
2017	0.115	0.046	0.084	0.072	0.111	0.221	0.046	29.509	65.727	4.764
2018	0.114	0.051	0.078	0.058	0.108	0.248	0.159	24.669	72.385	2.946
2019	0.102	0.046	0.066	0.052	0.086	0.233	0.161	24.174	73.053	2.773
2020	0.096	0.049	0.058	0.049	0.074	0.221	0.164	24.397	70.884	4.719
2021	0.102	0.043	0.059	0.051	0.096	0.223	0.141	23.894	73.054	3.053
2022	0.102	0.049	0.062	0.050	0.096	0.223	0.142	23.748	72.758	3.494

注: $G$ 、 $G_w$ 、 $G_{ng}$ 和 $G_t$ 分别表示总体基尼系数、区域内基尼系数、区域间基尼系数和贡献率。



注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2024)0650号的标准地图制作,底图无修改。

图S2 中国式现代化耦合协调度冷热点分析

Fig.S2 Analysis of cold and hot points of coupling and coordination degree of Chinese path to modernization

表 S2 绝对  $\beta$  收敛检验结果

Tab. S2 Absolute  $\beta$  convergence test results

	区域	城市群整体		上游城市群		中游城市群	下游城市群	
		双向固定 SEM		双向固定 SEM		双向固定 SEM	双向固定 SAR	
		双向固定 SEM	双向固定 SAR	双向固定 SEM	双向固定 SAR		双向固定 SAR	双向固定 SEM
第一步检验是否选择 SDM 模型	$\beta$	-0.780*** (0.026)	-0.793*** (0.026)	-0.763*** (0.045)	-0.745*** (0.049)	-0.654*** (0.046)	-0.731*** (0.033)	-0.734*** (0.034)
	$\lambda$ 或 $\rho$	0.223*** (0.055)	-0.114** (0.041)	0.133* (0.003)	0.341*** (0.086)	0.198* (0.103)	0.351*** (0.056)	0.354*** (0.069)
	$\sigma^2$	0.010*** (0.001)	0.010*** (0.001)	0.002*** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.005*** (0.001)	0.012*** (0.001)	0.012*** (0.001)
	Log-likelihood	679.888	675.677	227.976	227.221	210.033	359.728	353.690
	LM-error	22.014***		1.457		4.261*	0.260	
	LM-lag	8.397**		0.704		0.418*	9.121**	
	RobustLM-error	27.124***		25.873***		39.472***	12.402***	
	Robust LM-lag	13.506***		25.120***		35.628***	21.262***	
	Hausman 检验	19.77***		73.59***		22.67***	18.83***	
	个体固定效应	是		是		是	是	
	时间固定效应	是		是		是	是	
	LR test-lag	6.37**		1.07		6.40**	0.05	
	LR test-error	-2.05		-0.44		17.18***	12.13***	
	Wald test-lag	42.87***		29.58***		39.76***	32.04***	
	Wald test-error	17.90***		34.95***		33.06***	19.96***	
第二步退回 SAR/SEM 模型检验	Hausman 检验	237.55***	273.49	229.50***	261.57***	253.98***	605.63***	246.05***
	地区固定效应	是		是		是	是	
	时间固定效应	是		是		是	是	
	$R^2$	19.78	20.46	16.60	17.20	37.42	37.11	39.79
	年份	11	11	11	11	11	11	11
	收敛速率 $v$	13.76	14.3	13.09	12.42	9.65	11.90	12.03
	样本量	770		132		176	462	

注: \*、\*\* 和 \*\*\* 分别代表回归系数对应的统计量在 0.1、0.05 和 0.01 的水平上显著, 小括号内为稳健标准误, 中括号内为  $p$  值。下面的数字代表  $t$  统计量, 其他统计量下面的括号里面的数字代表  $p$  值。