

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2026.01.003

<https://xuebao.xaut.edu.cn>

引文格式:王亚红,吴霜,胡睿哲,魏伟.黄河流域新型城镇化空间关联网络的减污降碳效应研究[J].西安理工大学学报,2026,42(1):24-35.

Wang Yahong, Wu Shuang, Hu Ruizhe, Wei Wei. Research on the reduction effects on pollution and carbon emissions in the spatial correlation network of new-type urbanization in the Yellow River Basin[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2026, 42(1): 24-35.

黄河流域新型城镇化空间关联网络的 减污降碳效应研究

王亚红¹, 吴霜¹, 胡睿哲², 魏伟¹

(1. 郑州大学 管理学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州大学 运动与体育学院, 河南 郑州 450001)

摘要:黄河流域面临城镇化进程中污染与碳排放双重挑战。为探究新型城镇化空间网络对流域减污降碳的影响与机制,本文基于2010—2022年黄河流域76个地级市面板数据,构建空间关联网络并开展实证分析。结果表明:该网络呈“东高西低”及“核心—边缘”结构,能显著降低污染与碳排放强度,并提升二者协同水平;其作用主要通过优化产业结构和推动技术创新实现,且对资源型城市和中小城市的促进效应更明显。研究结果可为构建流域差异化、网络化减污降碳政策体系提供参考。

关键词:新型城镇化;空间关联网络;减污降碳;产业结构优化;技术创新

中图分类号: F291.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2026)01-0024-12

Research on the reduction effects on pollution and carbon emissions in the spatial correlation network of new-type urbanization in the Yellow River Basin

Wang Yahong¹, Wu Shuang¹, Hu Ruizhe², Wei Wei¹

(1. School of Management, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. School of Sports and Physical Education, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The Yellow River Basin faces the dual challenge by pollution and carbon emissions during urbanization. To investigate the impact and mechanisms of the new-type urbanization spatial network on pollution and carbon reduction in the basin, this study constructs a spatial correlation network using panel data from 76 prefecture-level cities in the Yellow River Basin from 2010 to 2022 and conducts an empirical analysis. The results show that the network exhibits an “east-high, west-low” pattern and a “core-periphery” structure, significantly reducing pollution and carbon emission intensity while enhancing their synergy. These effects are primarily achieved through industrial structure optimization and technological innovation, with more pronounced benefits in resource-based cities and small-to-medium-sized cities. The research results can serve as a reference for constructing a differentiated and networked policy system for pollution and carbon reduction in the basin.

Key words: new-type urbanization; spatial correlation network; pollution and carbon reduction; industrial structure optimization; technology innovation

收稿日期: 2025-09-24; 网络首发日期: 2026-03-02

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/61.1294.N.20260302.1111.002>

基金项目: 国家社科基金一般项目(23BGL193); 教育部人文社会科学研究青年基金项目(21YJC790104); 河南省博士后科研项目(202103033); 河南省高等学校重点科研项目(26A630020); 河南省高校人文社会科学研究一般项目(2025-ZDJH-101); 河南省软科学一般项目(262400411399)

第一作者: 王亚红, 女, 博士, 教授, 博导, 研究方向为资源与环境经济学。E-mail: wyahong2009@163.com

通信作者: 胡睿哲, 男, 硕士, 副教授, 硕导, 研究方向为产业融合、智慧文旅体。E-mail: huruizhe1618@zzu.edu.cn

黄河流域肩负“生态保护与高质量发展”双重战略使命。然而,传统城镇化模式带来人口与土地要素的粗放式集聚,导致土地低效扩张、能耗持续增加,并推高污染与碳排放水平。为应对该挑战,2021年10月,中共中央、国务院印发《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》,明确要求“构建便捷智能绿色安全综合交通网络”并“加快新型基础设施建设”。推动城乡交通、信息与能源网络联动,城市变身“流动空间”枢纽^[1],乡村则通过梯度结构融入区域网络,形成多层次空间关联体系。区别于传统城镇化侧重单体城市规模扩张,新型城镇化强调绿色、集约、协同发展,其空间网络化形态为跨区域环境治理提供了全新视角。网络结构通过节点间的要素流动、技术溢出与治理协同,有助于打破地理与行政壁垒、超越单一城市减排局限,在更大空间尺度上优化资源配置和环境容量分配。当前城市群网络密度偏低、要素流动不畅与空间联动不足等问题制约了资源配置与减排效应的充分发挥^[2]。因此,系统刻画黄河流域新型城镇化空间关联网络结构特征并揭示其对减污降碳的影响机制,对推进流域生态保护与高质量发展有重要理论与实践意义。

研究表明,新型城镇化可通过推广绿色理念、优化交通与能源结构等途径直接促进减排^[3]。新型城镇化试点证实了其持续增强的碳减排效应^[4],并有助于带动周边地区共同减污降碳^[5]。吕有金和高波^[6]的研究则揭示了经济与社会城镇化跨区域的污染治理机制。

然而,现有文献仍存在以下局限。其一,多数文献沿用静态空间分析方法,难以捕捉数字经济背景下以要素流动为特征的资源配置新模式^[7]。研究视角有待从单一行政区分析转向跨区域网络分析,由中心辐射结构转向多节点互动模型,从而更细致刻画节点关联与功能层级对要素流动的影响机制。其二,既有研究多聚焦地理邻近的集聚外部性,对新型城镇化空间网络中节点属性与网络外部性的探讨不足。王淑贺等^[8]虽从城市网络角度开展研究,但未聚焦特定区域,政策针对性有限。其三,针对黄河流域的相关研究多集中于生态韧性、绿色经济等宏观时空耦合分析^[9-11],从网络视角揭示新型城镇化影响减污降碳的跨区域协同路径仍较为欠缺。

鉴于此,本文可能的贡献包括:①构建网络关系分析框架,系统检验新型城镇化空间网络对减污、降碳及其协同水平的作用机制;②识别空间网络特征及分布格局,为区域绿色转型提供更精细的实证依据;③从产业结构升级与技术创新两个维度揭示其

传导路径;④识别网络对资源型城市与中小城市差异化赋能作用,为构建黄河流域“网络治理、产创融合、分类施策”协同治理体系提供参考。

1 理论分析和研究假设

基于空间相互作用与流空间理论,城市间要素流动与功能联系形成超越地理边界的网络化结构,是塑造区域发展与环境格局的关键^[12-13]。本研究将新型城镇化空间关联网络置于这一理论视角下进行审视,分析其对环境的影响与机制,最终聚焦于“减污、降碳及其协同水平”的提升。

1.1 新型城镇化空间关联网络对减污降碳的直接影响

新型城镇化空间关联网络通过要素流动与多城协作形成系统性联结,对减污降碳产生规模与协同效应。依据增长极理论,核心城市初期通过极化效应吸纳周边资源,形成规模优势;发展至一定阶段后,通过扩散效应带动周边地区,促进知识溢出与技术扩散,有助于打破信息壁垒,降低排放强度并提升协同水平^[14]。根据网络外部性理论,节点价值随关联规模递增,各城市通过嵌入网络能够强化其资源配置能力^[15],处于网络核心地位的城市在产业协作与市场整合中具备显著优势,体现为环保投入增加、技术更新与产业结构升级,从而直接改善本地环境质量^[16]。该网络有助于突破行政边界与地理距离限制,推动城市联动治理,核心节点城市通过技术输出、经验共享与基础设施协同,避免重复建设和治理盲区,降低减污降碳的边际成本,提升整体环境治理效能。基于上述分析,本文提出假设 H₁。

H₁:新型城镇化空间关联网络能够降低污染与碳排放强度,提升减污降碳协同水平。

1.2 新型城镇化空间关联网络对减污降碳的间接影响

新型城镇化空间关联网络通过重塑区域产业分工体系,推动产业结构优化,进而改善环境。这一传导路径契合环境库兹涅茨曲线(EKC)理论的核心逻辑:产业结构演进是经济体穿越环境污染倒U型曲线、实现增长与环境脱钩的关键动力^[17]。产业结构合理化通过网络化空间组织,促进核心与外围城市的功能协同、区域分工与要素流动,缓解产能过剩和资源错配,使产业布局更契合区域要素禀赋,从而提升全要素生产率,从源头减少同质化竞争带来的资源消耗与无效排放。产业结构高级化通过网络效应,推动区域跨越EKC曲线拐点,降低对能源密集型产业的依赖程度,减少碳排放。中心城市发挥集聚与辐射

作用,推动技术、资本等要素的跨区域传导,助力产业向高附加值、高技术方向转型,带动区域结构升级。高级化进一步促进清洁技术和绿色工艺的渗透,提升资源循环效率,以更低污染负荷实现经济增长与环境污染脱钩。基于上述分析,本文提出假设 H₂。

H₂:新型城镇化空间关联网络可通过产业结构的合理化与高级化降低污染与碳排放强度,提升减污降碳协同水平。

新型城镇化空间关联网络能够通过重塑技术创新的投入与绩效体系,提升减污降碳协同水平。创新扩散理论表明,技术创新及其效益通过社会经济网络在空间传播^[18],该网络正构成了从政策引导到成果转化的传导通道。在创新投入端,该网络强化政策导向的研发要素集聚。核心城市凭借研发资源与人才优势形成“政策投入高地”,并通过技术外溢、人才流动等带动外围城市创新投入提升^[19]。在创新绩效端,网络能够提高节点间的信息传导与创新资源整合效率,推动产、城、人深度融合,加速研发成果的跨区域转化与应用,扩大技术创新的绩效产出规模^[20]。在此基础上,技术创新从投入与绩效两端直接作用于减污降碳关键领域^[21]:在生产环节推动清洁工艺与循环经济技术应用,实现源头减排;在能源环节促进可再生能源技术突破,驱动能源结构清洁化转型;在交通环节加速新能源汽车普及,降低尾气排放。基于上述分析,本文提出假设 H₃。

H₃:新型城镇化空间关联网络可通过推动投入型和绩效型技术创新,降低污染与碳排放强度,提升减污降碳协同水平。

2 研究设计

2.1 模型构建

为检验新型城镇化空间关联网络对减污降碳的影响,本文构建如下双重固定效应模型:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 N + \beta_2 Z_{it} + \mu_i + \rho_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,被解释变量 Y_{it} 涵盖了第 i 个城市第 t 年的污染排放强度(P)、碳排放强度(C)及减污降碳协同水平(S), N 表示新型城镇化空间关联网络节点中心性, Z 为控制变量, β 为待估计系数, μ_i 为个体固定效应, ρ_t 为时间固定效应, ε_{it} 为随机扰动项。

为进一步识别其作用机制,参照江艇^[22]的研究方法,建立中介效应模型进行探究:

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 N + \beta_2 Z_{it} + \mu_i + \rho_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中,机制变量 M_{it} 涵盖产业结构合理化(J)与高级化(A)、投入型技术创新(I)和绩效型技术创新(T),其他变量的含义与式(1)保持一致。

2.2 变量定义

2.2.1 被解释变量

污染排放强度(P):以 SO₂ 和烟粉尘排放量为依据,参照《环境保护税法》权重 ($\theta_1 = 1.05, \theta_2 = 0.46$) 进行加权处理。具体公式如下:

$$P = (\theta_1 E_1 + \theta_2 E_2) / V_{GDP} \quad (3)$$

在式(3)中, P 表示大气污染物等效当量排放强度, E_1 和 E_2 分别为某城市 SO₂ 和烟粉尘的排放量, V_{GDP} 是该城市的生产总值。本文选取与碳排放同源且受《环境保护税法》规制的 SO₂ 与烟粉尘表征“减污”,以聚焦于大气协同治理。但未涵盖工业废水及工业固体废弃物等。未来可构建多介质污染综合指标。

碳排放强度(C):基于城市电能、燃气、交通及供热等能源消费产生的碳排放总量除以 GDP 值进行核算。

减污降碳协同水平(S):基于系统耦合理论,构建双系统协调度评价模型,对减污降碳的协同水平进行量化,具体计算公式如下:

$$\begin{cases} X = \frac{\max(C) - C}{\max(C) - \min(C)} \\ W = \frac{\max(P) - P}{\max(P) - \min(P)} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} M = 2 \sqrt{\frac{XW}{(X+W)^2}} \\ Q = aX + bW \\ S = \sqrt{MQ} \end{cases} \quad (5)$$

其中, X 和 W 分别为碳排放强度和污染排放强度负向标准化后的值,当标准化结果趋近零时实施 0.001 极小值校正。 M 为耦合度; Q 为综合指数,取 $a=b=0.5$ 体现双碳目标与污染防治同等权重; S 为耦合协调度,即减污降碳协同水平。

本研究同时将 P 、 C 、 S 纳入实证模型,旨在构建一个层次化的评估框架。这一设计能够分别检验网络对减污与降碳的具体影响,避免综合指标掩盖二者的作用差异;另一方面,通过综合指标 S ,可以评估网络对两大环境目标协同推进的整体效果,避免仅考察单一目标而忽视其协同治理价值,从而实现新型城镇化空间关联网络减污降碳效应更全面、更精细的刻画。

2.2.2 核心解释变量

新型城镇化空间关联网络的节点中心性(N)。首先,本文从人口、经济、社会、空间四个方面构建新型城镇化发展水平指标体系(如表 1 所示),并采用熵权 TOPSIS 法进行测度。指标构建的合理性在于:

人口城镇化是核心动力,选取城镇化率、人口密度与就业结构指标,反映人口集聚程度;经济城镇化是物质基础,选取人均 GDP、产业结构与市场规模指标,反映发展的质量与活力;社会城镇化是根本保障,选取教育、文化与医疗指标,反映公共服务的均等与共享;空间城镇化是载体支撑,选取土地利用强度、通达性与效率指标,反映城乡空间的集约与高效。经相关性分析与 VIF 检验($VIF < 10$),指标间不存在严重多重共线性。

表 1 新型城镇化评价指标体系

Tab.1 New-type urbanization evaluation index system

目标层	准则层	一级指标	二级指标	指标属性	指标权重
新型城镇化水平	人口城镇化	人口城镇化率	城镇常住人口/总常住人口	正	0.085 7
		人口密度	城镇常住人口/土地总面积	正	0.087 0
		城镇就业占比	第三产业从业人员比重	正	0.087 5
	经济城镇化	经济发展水平	人均 GDP (万元)	正	0.082 3
		产业发展水平	第三产业增加值/地区 GDP	正	0.086 6
	市场	市场规模	社会消费品零售总额/地区 GDP	正	0.086 7
	教育	保障水平	教育支出/地方财政预算内支出	正	0.087 3
	社会	文化共享水平	每百人公共图书馆藏书(册)	正	0.067 5
		医疗服务水平	每万人卫生机构床位数(张)	正	0.084 7
	空间	城镇化率	城市建设用地面积/土地总面积	正	0.073 3
通达状况		人均道路面积(m^2)	正	0.085 0	
	土地利用效率	城市建设用地利用效率	正	0.086 4	

其次,本文采用修正引力模型构建新型城镇化空间关联网络。该模型参考张玥等^[23]做法,综合考虑地理距离与经济势差作为衰减因子,并以城镇化水平作为调节参数,计算公式如下:

$$R_{ij} = k_{ij} \times \frac{U_i \times U_j}{[D_{ij}/(g_i - g_j)]^2}, k_{ij} = \frac{U_i}{U_i + U_j} \quad (6)$$

其中, R_{ij} 代表城市*i*和城市*j*的空间交互强度; D_{ij} 是城市*i*和城市*j*之间的地理空间距离; U 表征新型城镇化发展指数; g 代表人均 GDP; k_{ij} 作为调节参数反映城市*i*在关联体系中的主导程度。

基于各城市新型城镇化空间关联矩阵,本文运

用“均数原则法”对矩阵进行二值化处理,即当 R_{ij} 大于该行元素均值 \bar{R}_i 时赋值为 1,否则为 0,从而构建网络矩阵:

$$R_{\text{matrix}} = \begin{cases} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1N} \\ R_{21} & R_{22} & \cdots & R_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{N1} & R_{N2} & \cdots & R_{NN} \end{cases}, R_{ij} = \begin{cases} 1, & R_{ij} > \bar{R}_i \\ 0, & R_{ij} \leq \bar{R}_i \end{cases} \quad (7)$$

为清晰揭示网络的连通性与结构特征,本文采用二值化矩阵对网络整体拓扑特征进行分析,并利用网络度数中心度来反映城市在空间关联网络中的中心性,计算公式如下:

$$E = \frac{l}{L - 1} \quad (8)$$

式中, E 为二值化处理后的网络度数中心度, l 为与该城市直接有关的关系数; L 为网络中的节点数量。

在计算核心解释变量时,为更精确地反映城市节点的实际影响力,本文基于前述有向加权空间关联矩阵,借鉴赵构恒等^[24]的度量方法计算各节点的加权中心度,该方法综合考量了连边权重、数量与方向的节点重要性。具体计算公式如下:

$$K_{\text{WD}}^a(i) = \sqrt[3]{K_{\text{out}}(i) \times K_{\text{in}}(i) \times \frac{1}{2}(K_{\text{out}}(i) + K_{\text{in}}(i))} \quad (9)$$

其中, K_{in} 和 K_{out} 分别代表点入度和点出度, K_{WD}^a 表示度中心性。为缓解正偏态分布,将该值进行对数化处理,以此作为节点中心性(N)的最终测度值。

2.2.3 机制变量

1) 产业结构合理化(J)和高级化(A)。产业结构合理化采用泰尔熵指数进行逆向评估。产业结构高级化水平以第三产业与第二产业产值之比表示。

2) 投入型技术创新(I)和绩效型技术创新(T)。用科学技术支出占财政支出的比重表示投入型技术创新;用 GDP 与全年用电量的比值表示绩效型技术创新,比值越大代表能源利用效率越高。

2.2.4 控制变量

参考张玥等^[23]和白婷婷等^[25]的做法,选取以下控制变量:①发展潜力(d),用固定资产投资总额与地区生产总值的比值来衡量;②对外开放水平(o),用货物进出口总额占 GDP 比重进行衡量;③信息化水平(f),用当地国际互联网用户数与当地常住人口数的比值予以表征;④环境规制(e),依据文本分析法,用城市政府工作报告中环境治理相关语句字数占全文的比例来衡量;⑤工业化程度(i),用第二

产业产值占 GDP 的比重评估工业化进程阶段。

2.3 数据来源与描述性统计

本研究基于 2010—2022 年黄河流域 76 个地级市的面板数据展开分析。以 2010 年为起点,主要是考虑到该年是区域大气污染联防联控政策的关键实施节点,有助于观察协同治理的长期效果,且此后城

市数据连续性较好。研究范围参考赵玲等^[26]的界定,依据流域面积占比、数据完整性与行政区划稳定原则筛选得出,涵盖流域内 9 省区地级市。数据主要来源于《中国城市统计年鉴》《中国能源统计年鉴》等,缺失变量通过 EPS 平台补全,对个别缺失值采用线性插值处理。主要变量描述性统计见表 2。

表 2 描述性统计
Tab. 2 Descriptive statistics

变量类型	变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	污染排放强度(P)	988	0.005	0.006	0.000	0.021
	碳排放强度(C)	988	1.019	1.150	0.061	7.838
	减污降碳协同水平(S)	988	0.951	0.074	0.078	0.999
核心解释变量	新型城镇化空间关联网络的节点中心性(N)	988	0.937	0.584	0.108	3.840
机制变量	产业结构合理化(J)	988	0.288	0.215	-0.072	1.722
	产业结构高级化(A)	988	0.978	0.543	0.194	4.107
	投入型技术创新(I)	988	0.013	0.011	0.001	0.196
	绩效型技术创新(T)	988	11.693	6.543	0.596	34.583
控制变量	发展潜力(d)	988	1.163	0.724	0.082	7.801
	对外开放水平(o)	988	0.107	0.159	0.000	1.021
	信息化水平(f)	988	0.232	0.155	0.004	1.481
	环境规制(e)	988	1.044	0.387	0.354	7.358
	工业化程度(i)	988	0.482	0.119	0.156	0.819

3 实证结果与分析

3.1 特征事实

3.1.1 新型城镇化空间格局特征

2010—2022 年黄河流域新型城镇化水平呈上升趋势,其中 2010—2018 年增速较快,2018 年后趋缓(详见图 1)。2010 年呈“单中心”点状格局,以西安、济南、郑州等省会城市为核心;2014—2018 年,核心城市辐射带动增强,洛阳、兰州等次级节点城市加快发展,都市圈初步形成;2019 年 9 月 18 日,“黄河流域生态保护和高质量发展”作为重大国家战略被提出以来,区域协同增强,逐步构建“带状—网络化”空间结构,但仍呈现“东高西低”的非均衡特征,为促进减污降碳提供了空间基础。

3.1.2 减污、降碳及其协同水平空间格局特征

污染排放方面,2010—2014 年高强度污染区仍广泛存在;2014 年后污染排放强度快速降低,至 2022 年空间上的“污染热点”基本消除,末端治理政策效果显著。碳排放方面呈现“先升后降、波动调整”的复杂

演变特征,晋陕蒙宁“能源金三角”及豫鲁等中下游地区始终为碳排放强度高地,近年则呈现出“双碳”目标驱动的转型态势。减污降碳协同水平整体持续提升,空间格局不断优化。2010 年区域差异显著,下游少数城市协同水平较高,上游协同水平普遍较低;2014—2018 年中下游地区协同水平明显提升,初步形成济南—郑州高值集聚带,中游呈现连片发展态势;至 2022 年,流域协同格局持续优化,低值区明显提升,整体向协调均衡方向发展(详见本文电子版附录中图 A1~图 A3)。

3.1.3 新型城镇化空间关联网络特征

如图 2 与图 3 所示,黄河流域新型城镇化已形成多流向、多层级的空间网络结构。网络关联度为 1,表明不存在孤立节点,空间溢出效应明显;网络等级度为 0,说明城市间呈现平等、双向的联系特征;网络效率保持在 0.800 左右,反映连接路径相对单一,网络稳定性与连通性有待加强。网络关系系数与密度随时间波动,网络关系系数与密度的波动则揭示了流域内部发展的不均衡与阶段性。

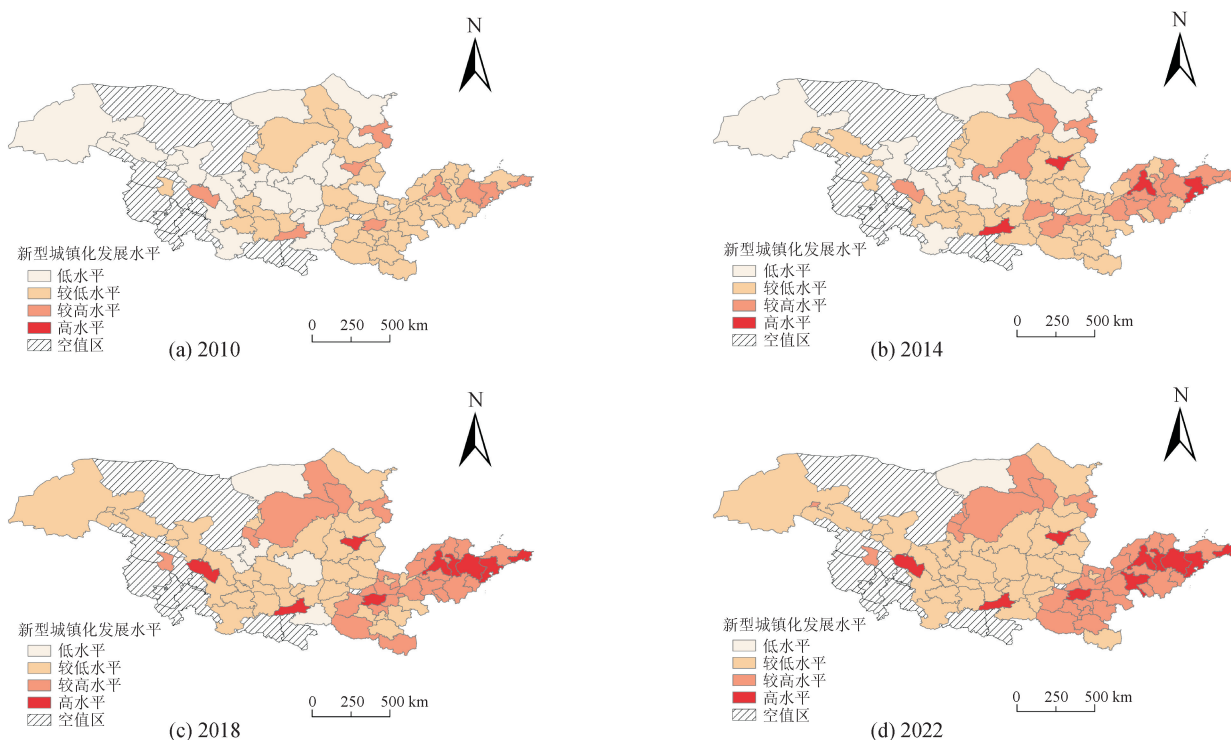


图1 黄河流域新型城镇化空间格局

Fig.1 Spatial pattern of new-type urbanization in the Yellow River Basin

注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2024)0650号标准地图制作,底图无修改。

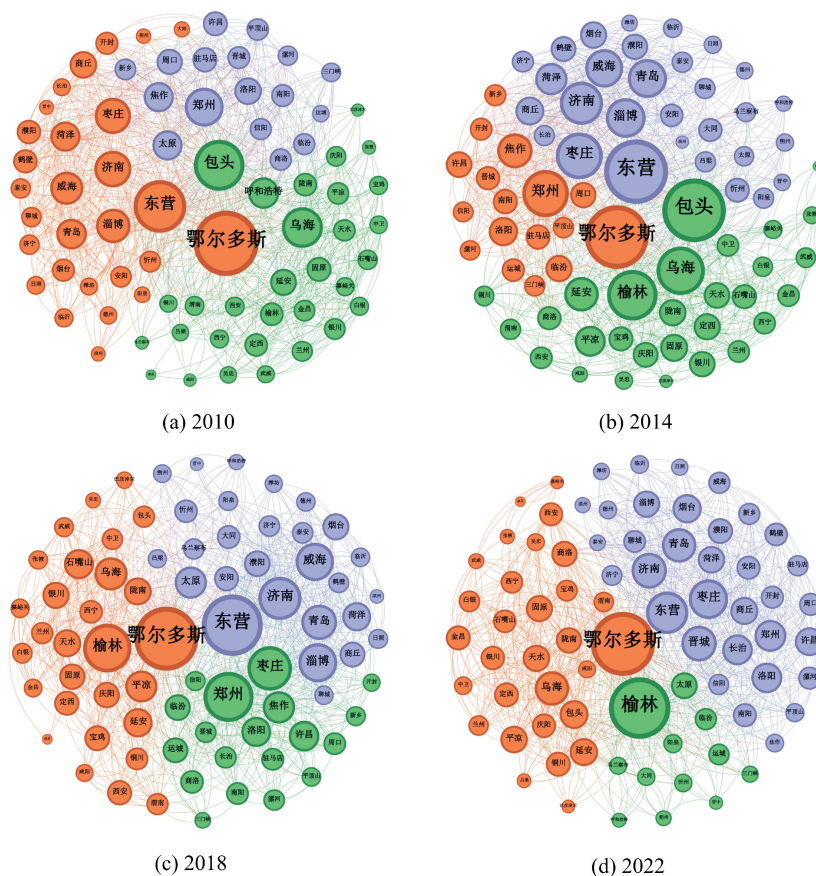


图2 黄河流域新型城镇化空间关联网络

Fig.2 Spatial correlation network of new-type urbanization in the Yellow River Basin

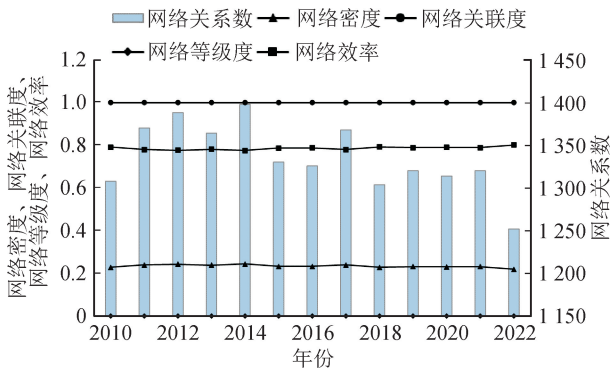


图 3 新型城镇化空间关联网络整体网络特征
Fig. 3 Overall network characteristics of the spatial correlation network of new-type urbanization

如表 3 所示,黄河流域新型城镇化网络呈现典型的“核心—边缘”结构。度数中心度排名前 10 位的城市中,鄂尔多斯、东营等资源型城市高于郑州、济南等省会城市,说明网络联系更多依赖资源禀赋而非行政等级;排名后 10 位的城市多位于流域西部或北部,反映其经济联系较弱、参与程度有限。这一结构特征意味着,资源型城市在网络中的高度中心性可能进一步强化路径依赖,而边缘地区的弱连接则可能制约其在减污降碳中的有效参与,从而影响区域整体协同发展进程。

3.2 基准回归

表 4 基准回归结果表明,新型城镇化空间关联网络的节点中心性对黄河流域减污降碳具有显著促进作用。模型(1)、(3)、(5)在控制城市与时间固定

效应后仍保持稳健,加入控制变量后,模型(2)、(4)、(6)的拟合优度进一步提升,增强了结论的可靠性。具体而言,网络中心性每提升 1%,污染排放强度和碳排放强度分别下降 0.001 个和 0.162 个单位,对降碳的影响尤为显著;同时,减污降碳协同水平显著提高约 0.014 个单位,表明网络有效促进了二者的协同发展。以上发现支持了研究假设 H₁,即新型城镇化空间网络能推动减污、降碳及其协同水平的提升。

表 3 排名前 10 位与后 10 位城市新型城镇化网络度数中心度

Tab. 3 Degree centrality values of new-type urbanization for the Top 10 and Bottom 10 Cities

前十名城市	度数中心度	排序	后十名城市	度数中心度	排序
鄂尔多斯	0.960	1	潍坊	0.093	11
东营	0.893	2	张掖	0.093	12
包头	0.760	3	乌兰察布	0.093	13
榆林	0.747	4	滨州	0.080	14
枣庄	0.573	5	咸阳	0.080	15
乌海	0.547	6	朔州	0.080	16
郑州	0.547	7	吴忠	0.080	17
济南	0.533	8	嘉峪关	0.067	18
呼和浩特	0.507	9	巴彦淖尔	0.053	19
青岛	0.493	10	酒泉	0.027	20

表 4 基准回归结果

Tab. 4 Baseline regression results

变量	(1) P	(2) P	(3) C	(4) C	(5) S	(6) S
N	-0.001** (0.000)	-0.001** (0.000)	-0.165** (0.072)	-0.162** (0.025)	0.012** (0.006)	0.014*** (0.005)
控制变量	否	是	否	是	否	是
_cons	0.006*** (0.000)	0.011*** (0.001)	1.174*** (0.069)	1.490*** (0.319)	0.940*** (0.006)	0.812*** (0.058)
样本量	988	988	988	988	988	988
城市固定	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是
R ²	0.778	0.788	0.769	0.770	0.620	0.641

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10%水平上显著,括号内为城市层面的异方差稳健标准误。下同。

3.3 内生性检验

根据王研等^[27]和陈曦等^[28]的研究,选取黄河流域各城市的平均高程与河流密度作为新型城镇化

网络中心性的工具变量。其合理性基于以下三重考量:首先,二者作为自然地理禀赋,短期内不受城镇化政策或减污降碳目标的直接影响,符合外生性约

束;其次,作为地理特征的代理变量,二者共同构成黄河流域横跨东、中、西部的梯度空间关联基础,会与新型城镇化网络中心性产生关联,满足相关性假设;最后,为构建面板工具变量,将上述地理变量取对数后与对数化 GDP 交互,以捕捉地理—经济协同效应,增强其对内生变量的解释力。

为克服模型潜在的内生性偏误,本文采用工具变量法进行两阶段回归(2SLS),表 5 呈现估计结果。第一阶段检验中,Kleibergen-Paap rk LM 统计量拒绝不可识别原假设,Cragg-Donald Wald F 值远超 10%偏

误水平临界值,证实工具变量满足相关性与外生性要求。列(1)和列(5)是第一阶段的回归结果,可以发现, V_1 对 N 的影响显著为正, V_2 显著为负,说明在平均高程较高的城市,经济规模扩大、区域协作增强可能更依赖空间关联网络,而河流密度高的城市自成体系,内部资源循环较强,从而弱化对空间网络的依赖。列(2)~列(4)以及列(6)~列(8)是第二阶段的回归结果,在考虑了内生性问题后,新型城镇化空间关联网络对减污、降碳及其协同发展的推动作用仍然显著,与基准回归一致,证明了本文研究结果的稳健性。

表 5 内生性检验
Tab. 5 Endogeneity tests

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	N	P	C	S	N	P	C	S
V_1	0.119*** (0.014)							
V_2					-0.364*** (0.045)			
N		-0.005*** (0.001)	-1.685*** (0.322)	0.089*** (0.019)		-0.007*** (0.001)	-1.254*** (0.286)	0.097*** (0.026)
Kleibergen-Paap rk LM		56.830[0.000]				50.807[0.000]		
Cragg-Donald Wald F		195.695[16.38]				192.282[16.38]		
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
样本量	988	988	988	988	988	988	988	988
城市固定	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是	是	是

3.4 稳健性检验

本文通过三种方法进行稳健性检验(见表 6)。第一,样本筛选法。剔除 2020 年后受疫情影响的样本,排除异常时期干扰。第二,被解释变量滞后一期。将减污、降碳及其协同水平滞后一期重新回归,

以考虑其累积效应。第三,极端值修正法。对连续变量进行 1%双侧缩尾处理,缓解极端值影响。检验结果显示,核心解释变量(N)的回归系数在统计显著性和作用方向上均与基准结果一致,表明新型城镇化网络对减污、降碳及其协同水平的促进作用具有稳健性。

表 6 稳健性检验
Tab. 6 Robustness tests

变量	删除特殊样本			被解释变量滞后一期			缩尾处理		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	P	C	S	P	C	S	P	C	S
N	-0.001* (0.000)	-0.180** (0.089)	0.017** (0.007)	-0.001** (0.000)	-0.140* (0.081)	0.013** (0.005)	-0.001** (0.000)	-0.164** (0.070)	0.010*** (0.004)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是
_cons	0.008*** (0.002)	1.505*** (0.435)	0.814*** (0.083)	0.012*** (0.001)	0.945* (0.485)	0.834*** (0.027)	0.012*** (0.001)	1.529*** (0.327)	0.858*** (0.020)
样本量	836	836	836	912	912	912	988	988	988
城市固定	是	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是	是	是	是
R^2	0.816	0.784	0.667	0.800	0.781	0.650	0.787	0.769	0.745

3.5 机制检验

中介效应模型估计结果(表 7)揭示新型城镇化空间关联网影响减污降碳的传导路径。列(1)结果表明,新型城镇化网络有助于优化产业布局,推动产业结构合理化。产业结构的合理化通过提升经济整体效率,优化资源配置,从源头降低污染^[17]。列(2)说明,该网络推动了产业结构向高级化演进。产业结构高级化通过降低高耗能产业比重,直接减少污染与碳排放。列(3)中网络中心性对投入型技术创新的促进作用显著,说明政府协同政策引导研发投入。根据王芳等^[29]的研究,加大对技术创新的研发投入能显著抑制环境污染。列(4)中新型城镇化网络中心性对绩效型技术创新的影响显著为正,表明跨区域协作与基础设施共享提升了单位能耗经济产出。马彦瑞等^[3]认为绩效型技术创新可以提高能源效率,进而减少能源消耗及污染物排放,对减污降碳有重要作用。至此,假设 H₂ 与 H₃ 得以验证。

表 7 作用机制检验结果

Tab. 7 Mechanism test results

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>I</i>	<i>T</i>
<i>N</i>	-0.024** (0.012)	0.071*** (0.021)	0.002** (0.001)	2.712*** (0.315)
控制变量	是	是	是	是
_cons	0.141** (0.062)	2.750*** (0.086)	0.013** (0.005)	12.923*** (1.563)
样本量	988	988	988	988
城市固定	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是
<i>R</i> ²	0.725	0.920	0.511	0.884

3.6 异质性分析

3.6.1 资源禀赋异质性分析

为识别新型城镇化空间关联网减污降碳效应的区域异质性,本文根据《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020)》将样本划分为资源型与非资源型城市(表 8)。

表 8 资源禀赋异质性检验结果

Tab. 8 Results of resource endowment heterogeneity tests

变量	资源型城市			非资源型城市		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>S</i>
<i>N</i>	-0.001** (0.000)	-0.331*** (0.058)	0.012** (0.006)	-0.001 (0.001)	0.157 (0.192)	0.025* (0.015)
控制变量	是	是	是	是	是	是
_cons	0.013*** (0.002)	0.599** (0.238)	0.871*** (0.035)	0.010*** (0.002)	2.356*** (0.684)	0.689*** (0.117)
样本量	520	520	520	468	468	468
城市固定	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是
<i>R</i> ²	0.795	0.849	0.628	0.811	0.756	0.779

结果显示:在资源型城市中,网络节点中心性的提升显著促进了减污、降碳及其协同水平;而在非资源型城市中,网络节点中心性对减污和降碳的直接作用不显著,仅对协同水平有积极影响。这一差异可能源于两类城市的发展特征:资源型城市因问题突出、结构单一、政策响应快,更容易通过网络激活产业结构优化与技术升级两条路径;而非资源型城市产业结构相对多元,路径依赖较弱,其与网络核心节点的产业协作关系不足,导致“产业结构优化”机

制未能有效激活,同时在吸收和转化技术溢出方面存在局限,使得“技术创新”传导路径受阻。

3.6.2 城市规模异质性分析

为考察新型城镇化空间关联网减污降碳协同效应的规模异质性,本文依据《关于调整城市规划分标准的通知》,按城区常住人口是否超过 300 万将样本划分为大城市与中小城市两组(表 9)。大城市的网络节点中心性对减污、降碳及协同水平均未产生显著的积极影响,可能的原因是:第一,大城市城

镇化水平较高,环境治理体系相对成熟,网络协同的边际效益递减,污染与碳排放已接近治理瓶颈;第二,庞大的产业基数和复杂的利益格局使得产业深度转型的边际成本高昂,网络关联可能更多服务于现有经济活动的扩张而非产业升级;第三,“技术创新”机制的应用环节出现堵塞,尽管大城市多为创新策源地,但技术的规模化、产业化应用可能因当地用工成本、市场或制度壁垒而受限,导致创新投入未能

有效转化为本地减排绩效。相反,中小城市的网络中心性对减排降碳作用显著,因其仍处于城镇化快速发展阶段,能够更有效地通过网络吸收技术、资金与管理经验,避免“先污染后治理”传统路径,从而提升资源效率与协同治理能力。综上表明,新型城镇化网络对减污降碳的推动作用因城市规模而异,其效益在治理体系尚不完善、后发优势明显的中小城市中更为凸显。

表9 城市规模异质性检验结果
Tab.9 Results of city size heterogeneity tests

变量	大城市			中小城市		
	(1) P	(2) C	(3) S	(4) P	(5) C	(6) S
N	0.001 (0.000)	-0.064 (0.085)	-0.001 (0.003)	-0.001*** (0.000)	-0.133* (0.079)	0.016** (0.007)
控制变量	是	是	是	是	是	是
_cons	-0.002 (0.001)	1.227*** (0.380)	0.989*** (0.011)	0.013*** (0.002)	1.733*** (0.378)	0.773*** (0.065)
样本量	286	286	286	702	702	702
城市固定	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是
R ²	0.850	0.719	0.767	0.802	0.774	0.634

4 结论与政策建议

本文基于2010—2022年黄河流域76个地级市数据,运用网络分析方法,考察了新型城镇化空间关联网络对减污降碳的影响与机制,主要结论如下:①黄河流域污染排放与碳排放强度整体下降,演变过程与空间分布存在差异。新型城镇化与减污降碳协同水平均呈“东高西低”的空间分异,新型城镇化网络形成“核心—边缘”网络结构;②新型城镇化网络能够显著降低城市的污染排放强度与碳排放强度,并提升两者协同水平,证实了网络化协同在环境治理中的直接促进作用;③空间关联网络主要通过产业结构优化和技术创新两条核心路径,间接驱动减污、降碳及其协同水平的提高;④该网络的减污降碳效应具有异质性。其对资源型城市和中小城市的促进作用显著,对非资源型城市和大城市的减排效果不明显。据此,本文提出以下政策建议。

第一,强化新型城镇化关联网络协同治理,提升直接减排效能。着力于增强网络整体联结强度与稳定性,建议由流域省级政府共同编制“黄河流域绿色基础设施网络建设规划”,重点推进跨区域交通、能源互联网与生态环境监测网络一体化,降低要素流动成本。同时,建立流域“减污降碳协同治理委员

会”,负责制定跨市域的排放标准协同、联合执法与应急响应机制,将空间关联固化为制度化的协同治理能力,最大化网络的规模效应与即时减排效果。

第二,推动跨域产业链与创新链融合。为避免网络流于形式,需构建实体化的跨区域协作平台。由各地地方政府主持绘制基于减污降碳目标的区域“产业—技术—要素”生态图谱,明确各城市在网络中的绿色职能定位。重点推动核心城市与资源型、中小城市之间建立联盟,将产业结构优化与技术创新扩散进行捆绑式协议合作。同时,建立基于网络联系的“减污降碳协同度”考核与横向生态补偿机制,对成功通过网络带动边缘地区减排的核心节点给予奖励,对未能有效输出绿色要素的城市形成约束,从而在制度上保障“产业结构优化”与“技术创新”两大机制在网络中畅通运行。

第三,实施节点分类政策,破解治理困境。针对网络效应不显著的非资源型城市和大城市,需诊断症结、精准干预。对于非资源型城市,建议实施“伙伴城市”计划,加强创新网络融合与治理体系一体化,将其与核心创新城市强制结对,通过共建产业园、干部双向挂职等方式,深度嵌入产业链与创新链。对于大城市,政策关键在于施加内部转型压力与打破应用壁垒,应在大型城市率先推行“存量产能

绿色化改造配额”交易制度,并强制要求本地重大工程优先采购清单内的低碳技术产品,将其网络中心性优势转化为本地实质性减排的硬约束,激活其作为网络枢纽本应发挥的引领示范作用。

参考文献:

- [1] 盛科荣,王丽萍,孙威.网络权力、知识溢出对中国城市绿色经济效率的影响[J].资源科学,2021,43(8):1509-1521.
Sheng Kerong, Wang Liping, Sun Wei. Impacts of network power and knowledge spillovers on China's urban green economic efficiency[J]. Resources Science, 2021, 43(8): 1509-1521.
- [2] 李梦程,王成新,刘海猛,等.黄河流域城市发展质量评价与空间联系网络特征[J].经济地理,2021,41(12):84-93.
Li Mengcheng, Wang Chengxin, Liu Haimeng, et al. Evaluation of urban development quality and characteristics of spatial connection network in the Yellow River Basin[J]. Economic Geography, 2021, 41(12): 84-93.
- [3] 马彦瑞,刘强.新型城镇化建设的减污降碳效应[J].中国人口·资源与环境,2024,34(1):33-45.
Ma Yanrui, Liu Qiang. Effect of the reduction of pollution and carbon emissions in China's new urbanization construction[J]. China Population, Resources and Environment, 2024, 34(1): 33-45.
- [4] 李强,唐幼明.新型城镇化建设与城市低碳治理——基于国家新型城镇化综合试点政策实施的准自然实验[J].北京工商大学学报(社会科学版),2024,39(2):117-129.
Li Qiang, Tang Youming. New urbanization construction and urban low-carbon governance —— a quasi-natural experiment based on the implementation of national comprehensive pilot policy of new urbanization construction[J]. Journal of Beijing Technology and Business University (Social Sciences), 2024, 39(2): 117-129.
- [5] 陈红梅,张彩莉,李建豹.长三角地区新型城镇化对城市土地绿色利用效率的影响及空间效应[J].长江流域资源与环境,2024,33(7):1382-1396.
Chen Hongmei, Zhang Caili, Li Jianbao. Research on influence and spatial effect of new-type urbanization on urban land green use efficiency in the Yangtze River Delta Region[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024, 33(7): 1382-1396.
- [6] 吕有金,高波.新型城镇化对环境污染的直接影响与空间溢出——以长江经济带108个城市为例[J].大连理工大学学报(社会科学版),2021,42(5):41-51.
Lü Youjin, Gao Bo. The direct impact of new urbanization on environmental pollution and spatial spillover——taking 108 cities in the Yangtze River Economic Belt as example[J]. Journal of Dalian University of Technology (Social Sciences), 2021, 42(5): 41-51.
- [7] 邓慧慧,刘宇佳,王强.中国数字技术城市网络的空间结构研究——兼论网络型城市群建设[J].中国工业经济,2022(9):121-139.
Deng Huihui, Liu Yujia, Wang Qiang. Spatial structure of city network about digital technology in China——discussion on network urban agglomeration construction[J]. China Industrial Economics, 2022(9): 121-139.
- [8] 王淑贺,刘世哲,李晓敏.数字经济空间关联网对减污降碳的影响机制研究[J].中国地质大学学报(社会科学版),2025,25(2):105-119.
Wang Shuhe, Liu Shizhe, Li Xiaomin. Research on the impact mechanism of the digital economy spatial correlation network on pollution reduction and carbon reduction[J]. Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition), 2025, 25(2): 105-119.
- [9] 郭海红,刘新民.沿黄地区中心城市新型城镇化与生态韧性的耦合协调机制研究[J].华东经济管理,2023,37(4):101-109.
Guo Haihong, Liu Xinming. Coupling and coordination mechanism of new urbanization and ecological resilience in central cities along the Yellow River[J]. East China Economic Management, 2023, 37(4): 101-109.
- [10] 柳江,赵鹏睿.数字经济对黄河流域制造业全要素生产率的影响机制:创新效率的中介作用和企业家精神的调节作用[J].创新科技,2025,25(2):28-41.
Liu Jiang, Zhao Pengrui. The influence mechanism of the digital economy on total factor productivity of the manufacturing industry in the Yellow River Basin: the mediating effect of innovation efficiency and the moderating effect of entrepreneurship[J]. Innovation Science and Technology, 2025, 25(2): 28-41.
- [11] 苏卉,李琼,李秋娟.黄河流域数实融合水平区域差异及动态演进[J].创新科技,2025,25(8):54-67.
Su Hui, Li Qiong, Li Qiuxian. Regional disparities and dynamic evolution of digital-real integration level in the Yellow River Basin[J]. Innovation Science and Technology, 2025, 25(8): 54-67.
- [12] 柳坤,申玉铭.国内外区域空间相互作用研究进展[J].世界地理研究,2014,23(1):73-83.
Liu Kun, Shen Yuming. Review of research on regional spatial interaction at home and abroad[J]. World Regional Studies, 2014, 23(1): 73-83.
- [13] 孙中伟,路紫.流空间基本性质的地理学透视[J].地理与地理信息科学,2005(1):109-112.
Sun Zhongwei, Lu Zi. A geographical perspective to the elementary nature of space of flows[J]. Geography and Geo-Information Science, 2005(1): 109-112.
- [14] 陈礼.“双碳”产业的数字化增长极:技术手段、治理能力与协作方式[J].湖南社会科学,2025(2):60-69.
Chen Li. Digital growth poles of the dual-carbon industry: technical means, governance capacity, and collaboration methods[J]. Hunan Social Sciences, 2025

- (2): 60-69.
- [15] 卢硕,夏四友,张文忠,等. 中国资源型城市网络外部性及其对经济绩效的影响[J]. 资源科学, 2024, 46(10): 1996-2008.
Lu Shuo, Xia Siyou, Zhang Wenzhong, et al. Network externalities and their impact on economic performance in resource-based cities of China[J]. Resources Science, 2024, 46(10): 1996-2008.
- [16] 周宏浩,谷国锋. 外部性视角下中国城市网络演化及其环境效应研究[J]. 地理研究, 2022, 41(1): 268-285.
Zhou Honghao, Gu Guofeng. The evolution of China's city network and its environmental effects from the perspective of externalities[J]. Geographical Research, 2022, 41(1): 268-285.
- [17] 高志刚,彭俊颖,韩延玲. 产业结构优化对新疆碳减排的影响研究[J]. 新疆社会科学, 2024(4): 74-83.
- [18] 王珊珊,王宏起. 技术创新扩散的影响因素综述[J]. 情报杂志, 2012, 31(6): 197-201.
Wang Shanshan, Wang Hongqi. A review on the Influencing factors of technological innovation diffusion[J]. Journal of Intelligence, 2012, 31(6): 197-201.
- [19] 王婧,杜广杰. 中国城市绿色创新空间关联网络及其影响效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(5): 21-27.
Wang Jing, Du Guangjie. Spatial association network of green innovation in Chinese cities and its impact effect[J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(5): 21-27.
- [20] 邓郴宜,万勇,汪子泉. 产城人融合是否促进了绿色技术创新“量质齐升”——以长三角城市群为例[J]. 华东经济管理, 2023, 37(11): 17-28.
Deng Chenyi, Wan Yong, Wang Zixiao. Does the integration of industry-city-people promote the “Joint Improvement of Quantity and Quality” of green technology innovation: taking 41 cities in the Yangtze River Delta as an example[J]. East China Economic Management, 2023, 37(11): 17-28.
- [21] 邵帅,范美婷,杨莉莉. 经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展——基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察[J]. 管理世界, 2022, 38(2): 46-69.
Shao Shuai, Fan Meiting, Yang Lili. Economic restructuring, green technical progress, and low-carbon transition development in China: an empirical investigation based on the overall technology frontier and spatial spillover effect[J]. Management World, 2022, 38(2): 46-69.
- [22] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120.
Jiang Ting. Mediating effects and moderating effects in causal inference[J]. China Industrial Economics, 2022(5): 100-120.
- [23] 张玥,代亚强,柯新利. 中国新型城镇化空间关联网络及其对土地利用生态效率的影响——基于网络节点中心度视角[J]. 中国土地科学, 2023, 37(9): 117-129.
Zhang Yue, Dai Yaqiang, Ke Xinli. Spatial correlation network characteristics of new-type urbanization and its impact on the land use eco-efficiency in China: a perspective of network centrality[J]. China Land Science, 2023, 37(9): 117-129.
- [24] 赵构恒,贾鹏,周安民. 有向加权网络中的改进度中心性[J]. 计算机应用, 2020, 40(增刊1): 141-145.
Zhao Gouheng, Jia Peng, Zhou Anmin. Improved degree centrality for directed-weighted network[J]. Journal of Computer Applications, 2020, 40(S1): 141-145.
- [25] 白婷婷,蔡勇. 数字经济对减污降碳协同发展的影响研究——基于绿色技术创新的中介作用分析[J]. 科研管理, 2025(1): 1-16.
Bai Tingting, Qi Yong. Impact of digital economy on the synergistic reduction of pollution and carbon emissions: the mediating role based on green technology innovation[J]. Science Research Management, 2025(1): 1-16.
- [26] 赵玲,周鑫玥. 黄河流域城市经济韧性时空分异及影响因素研究[J]. 西安财经大学学报, 2025, 38(2): 93-105.
Zhao Ling, Zhou Xinyue. Spatiotemporal differentiation and influencing factors of urban economic resilience in the Yellow River Basin[J]. Journal of Xi'an University of Finance and Economics, 2025, 38(2): 93-105.
- [27] 王研,马瑞瑞,李娟,等. 基于地理探测器的地表水质影响因素研究——以山西省吕梁市为例[J]. 环境科学学报, 2023, 43(2): 212-222.
Wang Yan, Ma Ruirui, Li Juan, et al. Study on influential factors of surface water quality using geographic detector—a case of Lüliang City, Shanxi Province[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2023, 43(2): 212-222.
- [28] 陈曦,吴英巨,朱建华. 新质生产力视角下地方人才引进与全要素生产率[J]. 经济管理, 2024, 46(12): 104-120.
Chen Xi, Wu Yingju, Zhu Jianhua. Talent introduction and total factor productivity from the perspective of new quality productivity force[J]. Business Management, 2024, 46(12): 104-120.
- [29] 王芳,季健,秦海鸥,等. 技术创新对环境污染影响的空间分析——基于研发投入视角[J]. 生态经济, 2021, 37(7): 196-205.
Wang Fang, Ji Jian, Qin Haiou, et al. Spatial analysis of the impact of technological innovation on environmental pollution: based on the perspective of R&D investment[J]. Ecological Economy, 2021, 37(7): 196-205.

(责任编辑 王卫勋)

附录

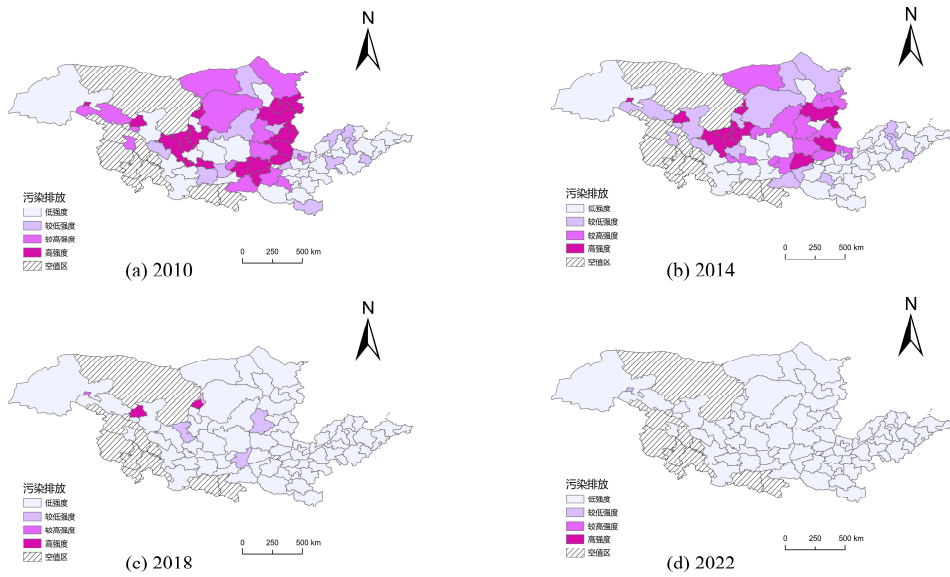


图 A1 黄河流域污染排放强度空间格局

Fig.A1 Spatial pattern of pollution emission intensity in the Yellow River Basin

注：此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为 GS（2024）0650 号标准地图制作，底图无修改。

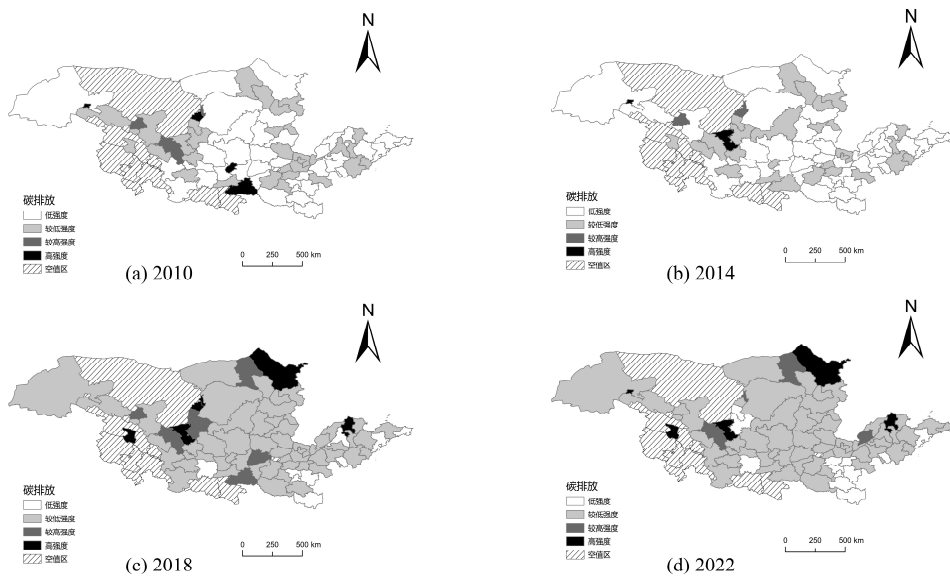


图 A2 黄河流域碳排放强度空间格局

Fig.A2 Spatial pattern of carbon emission intensity in the Yellow River Basin

注：此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为 GS（2024）0650 号标准地图制作，底图无修改。

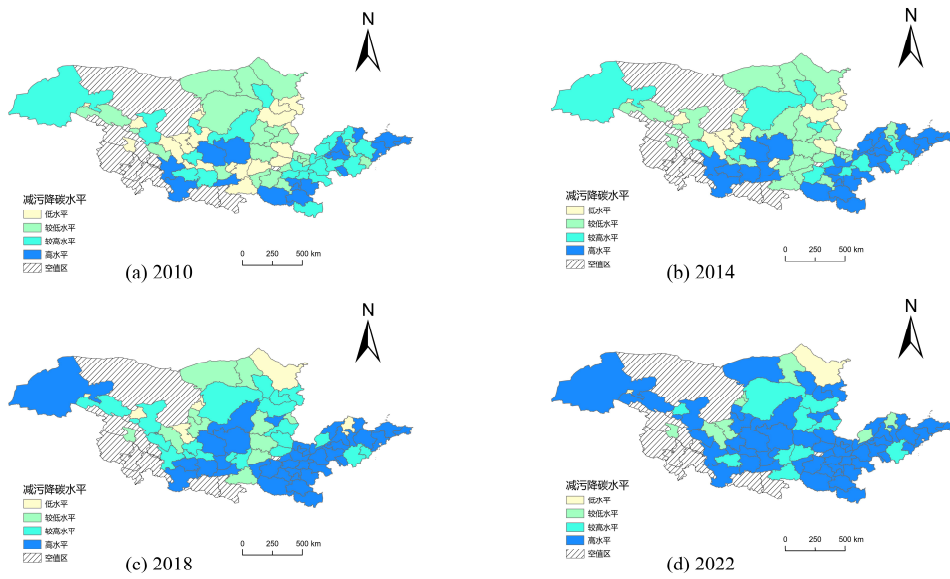


图 A3 黄河流域减污降碳空间格局

Fig.A3 Spatial pattern of pollution and carbon reduction in the Yellow River Basin

注：此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为 GS（2024）0650 号标准地图制作，底图无修改。