

土地要素驱动下的山西省碳排放与新型城镇化的耦合及低碳路径研究

王立军^{1*}, 梁变变^{2#}

¹忻州市土地事务中心, 山西 忻州

²山西瑞鑫智慧土地勘测规划咨询有限公司, 山西 太原

收稿日期: 2025年7月4日; 录用日期: 2025年7月30日; 发布日期: 2025年8月7日

摘要

山西省作为典型资源型省份, 面临城镇扩张高碳锁定与土地资源错配的双重挑战。研究构建新型城镇化指标体系, 综合运用熵值法、耦合协调模型及协调影响力模型, 分析碳排放与新型城镇化的耦合协调与协调影响力。结果表明: 1) 2012~2023年山西省多数地级市碳排放总量缓慢波动上升, 各地级市的新型城镇化水平缓慢上升。2) 2012~2023年山西省各地级市的耦合度和耦合协调度不断提升, 耦合作用不断增强, 耦合协调发展类型以磨合阶段为主发展为以协调阶段为主。3) 2012~2023年各地市的空间城镇化子系统对综合耦合协调性呈现显著的短板效应。基于此, 从差异化土地政策与普适性政策方面提出土地要素驱动下的山西省低碳城镇化发展路径。

关键词

碳排放, 新型城镇化, 耦合协调, 协调影响力, 低碳发展

Research on the Coupling of Carbon Emission and New Urbanization and Low-Carbon Path in Shanxi Province Driven by Land Factor

Lijun Wang^{1*}, Bianbian Liang^{2#}

¹Xinzhou Land Administration Service Center, Xinzhou Shanxi

²Shanxi Ruixin Smart Land Survey and Planning Consulting Co., Ltd., Taiyuan Shanxi

Received: Jul. 4th, 2025; accepted: Jul. 30th, 2025; published: Aug. 7th, 2025

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 王立军, 梁变变. 土地要素驱动下的山西省碳排放与新型城镇化的耦合及低碳路径研究[J]. 可持续发展, 2025, 15(8): 87-98. DOI: 10.12677/sd.2025.158224

Abstract

As a typical resource-based province, Shanxi faces dual challenges: high-carbon lock-in driven by urban expansion and mismatched allocation of land resources. This study constructs a comprehensive indicator system for new-type urbanization and employs methodologies including the entropy method, coupling coordination model, and coordination influence model to analyze the coupling coordination relationship and coordination influence mechanisms between carbon emissions and new-type urbanization. The results indicate that: 1) The total carbon emissions of most prefectures in Shanxi Province rose slowly from 2012 to 2023, and the level of new urbanization in each prefecture will rise slowly. 2) The degree of coupling and coupling coordination of each prefecture-level city in Shanxi Province in 2012-2023 is increasing, the coupling influence is increasing, and the development of coupling coordination is developing from a predominantly grinding stage to a predominantly coordinating stage. 3) The spatial urbanization subsystem in various prefecture-level cities exhibited a significant short-board effect on comprehensive coupling coordination from 2012 to 2023. Based on this, the development path of low-carbon urbanization in Shanxi Province driven by land factors is proposed from the aspects of differentiated land policies and universal policies.

Keywords

Carbon Emissions, New-Type Urbanization, Coupling Coordination, Coordinated Influence, Low-Carbon Development

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

气候变化已成为 21 世纪人类发展的最严重挑战之一。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第六次评估报告指出,城市碳排放占全球总量的 75%以上,城镇化模式转型成为实现《巴黎协定》温控目标的关键。作为全球最大的发展中国家,中国在 2020 年提出“碳达峰、碳中和”目标,并将新型城镇化明确为国家战略,强调以“集约、绿色、低碳、智能”为核心的高质量发展路径。然而,资源型省份面临严峻考验,暴露出发达国家未曾经历的“高碳城镇化”困境。

EKC (环境库兹涅茨曲线)假说与 STIRPAT 模型共同构成了解析碳排放与城镇化复杂关联的重要理论基础。EKC 假说从宏观演进视角,提出经济增长与环境压力(如碳排放)之间存在潜在的倒“U”型非线性关系,暗示在特定发展阶段(拐点)后,经济结构的优化和技术进步可能促使碳排放随经济持续增长而下降。然而,这一关系的形态(如线性、倒 U 型、倒 N 型)及其拐点位置,高度依赖于区域发展模式、产业结构、政策干预强度以及关键的土地要素配置效率。STIRPAT 模型则从微观驱动力解构角度,提供了量化分析框架。它将环境影响视为人口规模、富裕程度和技术水平等核心社会驱动因素及其拓展变量(如空间结构、制度政策)的随机函数。在应用于城镇化和碳排放研究时,该模型能系统识别和量化各类驱动力的贡献:人口因素体现为城镇人口增长与集聚带来的能源和用地需求压力;富裕程度关联城镇经济发展水平与消费模式,常通过人均收入或地均经济产出衡量;技术水平则涵盖能源效率提升、低碳技术应用以及至关重要的土地利用/管理技术,这些技术因素直接影响单位经济活动的资源消耗和排放强度。土地

要素在此框架中扮演着核心中介与载体角色：一方面，城镇化的空间扩张必然通过土地用途转换和土地利用强度变化直接影响碳储存和碳排放；另一方面，技术效应和政策干预往往需要通过优化土地空间结构、提升土地利用效率或调整土地供应结构来实现减排。因此，EKC 与 STIRPAT 的框架，本质上是将城镇化进程产生的社会经济压力，通过土地要素配置这一关键中介变量，传导至最终的碳排放结果，并强调技术进步和政策杠杆对土地-碳关联的调节作用，共同揭示了“城镇化驱动 → 土地要素响应 → 碳循环变化”的内在逻辑链条。

依据政府间气候变化委员会评估报告，土地利用变化向大气中释放的碳仅次于化石燃料燃烧，是大气中的第二大人造碳源[1]，因此众多学者研究土地利用与土地覆盖变化(LULCC)对碳循环的影响。就当前研究来看，呈现多尺度、多模型、多驱动的综合视角，在方向上，有典型生态系统(如森林、草地、城市)的碳通量观测[2] [3]，有国家尺度的碳汇评估[4] [5]；在视角上，融合自然和社会因素，量化 LULCC 与环境因子的交互作用，并强调进行碳补偿分区，计算碳补偿潜力[6]-[10]；在方法上，通过模型耦合和机器学习降低不确定性，结合多情景预测优化土地管理策略[11] [12]。

关于碳排放与新型城镇化的现有研究，主要聚焦碳排放与城镇化的线性关系[13]-[15]，对于关键传导介质——土地要素，如何作用于碳排放与新型城镇化的研究较少。土地要素作为空间载体和政策工具，其配置情况对“城镇化-碳排放”系统至关重要。这种“土地-城镇化-碳排放”的深层逻辑尚未被系统解构，且缺乏针对资源型地域的调控路径设计。

山西省作为国家能源革命综合改革试点，承担着保障国家能源安全与低碳转型的双重使命。但是在山西，工矿用地占比近 30%，低效蔓延的空间形态推高基础设施能耗；而山地占比 80%的天然约束，迫使城镇建设挤占生态碳汇空间。本研究旨在定量刻画山西省各地市碳排放与新型城镇化耦合协调度的时空特征，揭示其动态演变趋势，识别推动或影响山西省碳排放与新型城镇化协调发展的关键要素，构建“以地控碳、以地促优”的山西特色低碳城镇化实施路径，最终实现山西省在高水平协调下的脱钩发展，即在维持经济增长和城镇化质量提升的同时，有效分离甚至减少城镇化发展对土地资源和碳排放的依赖(脱钩)，为山西省统筹推进绿色低碳转型与高质量新型城镇化建设、为资源型省份协调“发展-减碳-土地”矛盾提供借鉴。

2. 研究区概况

山西省，地处中国华北黄土高原东翼，表里山河，承东启西，省辖 11 个地级市和 117 个县级行政单位，是典型的资源型省份与国家重要的能源基地，其发展轨迹深刻烙印着“煤炭经济”的印记。受资源禀赋和产业布局影响，山西的城镇化呈现出独特的“工矿型城镇化”特征，面对资源环境约束趋紧、高质量发展要求和国家“双碳”战略目标，山西正处于前所未有的深度转型攻坚期。如何打破“资源约束”，在保障国家能源安全的同时，推动产业结构优化升级、能源体系绿色低碳转型，并以此为契机重塑城镇化发展路径，实现经济增长、城镇提质、生态改善与碳减排的多维协同，是关乎山西未来命运的核心命题。

3. 数据来源与研究方法

3.1. 数据来源

研究以 2012~2023 年为研究时段，以山西省 11 个地级市为研究对象。碳排放是关于温室气体排放的一个总称，温室气体中最主要的气体是二氧化碳，参照已有研究[16]，以二氧化碳排放数据表征碳排放量，数据来源于全球大气研究排放数据库(EDGAR)，用 ArcGIS10.7 裁剪山西区域，汇总得到各地市的碳排放

量。新型城镇化指标相关数据来源于《山西省统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》。

3.2. 新型城镇化水平测度

参考已有研究成果[17]-[20]，结合山西省数据可获取情况，从人口、经济、社会、环境、空间与城乡统筹六方面构建评价指标(见表 1)，采用熵值法计算各指标的权重与新型城镇化水平。

Table 1. Evaluation index system for new-type urbanization in Shanxi province
表 1. 山西省新型城镇化水平指标体系

一级指标	二级指标	单位	权重	属性
人口城镇化	城镇人口占比	%	0.0597	+
	二三产业就业人员比重	%	0.0447	+
经济城镇化	二三产业产值占比	%	0.0323	+
	人均地区生产总值	元	0.0875	+
	城镇居民人均可支配收入	元/人	0.0662	+
	公共预算支出	万元	0.0588	+
	每万人医疗卫生机构床位数	张	0.0489	+
社会城镇化	每万人互联网接入用户数	户	0.0633	+
	城市燃气普及率	%	0.0372	+
	城镇职工基本医疗保险参保人数	人	0.0347	+
环境城镇化	建成区绿化覆盖率	%	0.0482	+
	人均公园绿地面积	m ²	0.0390	+
	生活垃圾无害化处理率	%	0.0303	+
	城镇污水集中处理率	%	0.0305	+
空间城镇化	建设用地经济密度	万元/km ²	0.0684	+
	城市建设用地占比	%	0.0575	+
	建设用地人口密度	人/km ²	0.0484	+
	人均城市道路面积	m ²	0.0551	+
城乡统筹	城乡居民人均收入比	%	0.0458	-
	城乡居民人均消费比	%	0.0435	-

3.3. 耦合协调模型

引入耦合协调度模型中的耦合度和耦合协调度，分析地区碳排放与新型城镇化水平的耦合协调状况。耦合度是指两个或多个系统(或要素)之间相互依赖、相互影响的程度或强度，关注的是系统间关联的紧密性。耦合协调度是指两个或多个系统(或要素)在良性互动、相互促进的基础上，协调一致、和谐发展的程度或水平，不仅关注系统间相互作用的强度(耦合度)，还关注相互作用下的发展是否健康、有序和可持续。具体计算公式如下：

$$C = \sqrt{\frac{E \times U}{(E + U)^2}} \quad (1)$$

$$T = \alpha E + \beta U \quad (2)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (3)$$

式中, E 为碳排放量, U 为新型城镇化水平, C 为耦合度, T 为耦合协调总指数, D 为耦合协调度, α 、 β 为待定系数, 两者和为 1, 研究认为碳排放与新型城镇化水平同等重要, $\alpha = \beta = 0.5$ 。

耦合协调度计算完成后, 参考已有研究[16] [21]对计算结果进行类型划分, 划分结果见表 2。

Table 2. Classification criteria for coupling coordination degree categories

表 2. 耦合协调类型划分标准

发展类型	耦合协调类型	耦合协调度值
协调阶段	优质协调	(0.9, 0.10]
	良好协调	(0.8, 0.9]
	中级协调	(0.7, 0.8]
磨合阶段	初级协调	(0.6, 0.7]
	勉强协调	(0.5, 0.6]
失调阶段	濒临失调	(0.4, 0.5]
	轻度失调	(0.3, 0.4]
	中度失调	(0.2, 0.3]
	严重失调	(0, 0.2]

3.4. 协调影响力模型

通过协调影响力反映新型城镇化各子系统对碳排放与新型城镇化耦合协调度产生的作用和作用程度[22] [23], 具体计算协调影响力 CI 指标, CI 大于 0 代表推动作用, CI 小于 0 代表呈现短板效应。

$$CI = W_x (D_x - D_y) \quad (4)$$

式中, D_x ($x = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) 代表碳排放与新型城镇化子系统的耦合协调度; D_y 为碳排放与新型城镇化的综合耦合协调度; W_x 为各子系统的权重。

4. 碳排放与新型城镇化的动态演变与耦合协调

4.1. 碳排放与新型城镇化动态演化分析

4.1.1. 碳排放的动态演化分析

利用 Oringin 绘图软件绘制 2012~2023 年山西省 11 个地级市的碳排放热图(图 1), 由图 1 可知, 山西省碳排放总量 2012 年以长治、临汾和运城城市较大, 均在 6000 万吨以上, 2023 年转变为长治、朔州和运城, 其中, 朔州市碳排放量增加最大, 增加了 3038.14 万吨, 增长率为 66.10%, 碳排放总量最小的一直是阳泉市。从增速来看, 山西省多数地级市碳排放总量在 2012~2023 年均呈现出缓慢波动上升趋势, 阳泉市增长幅度最大, 增幅达 104.47%, 其次是朔州市; 临汾市和晋城市碳排放总量出现小幅下降趋势, 降幅分别为-4.54%和-2.46%, 主要得益于两市产业结构的转型与环保政策的加持, 两市通过发展煤层气、新能源、高端制造业(晋城光机电、临汾高端装备)等接替产业, 逐步形成绿色低碳的新增长极。

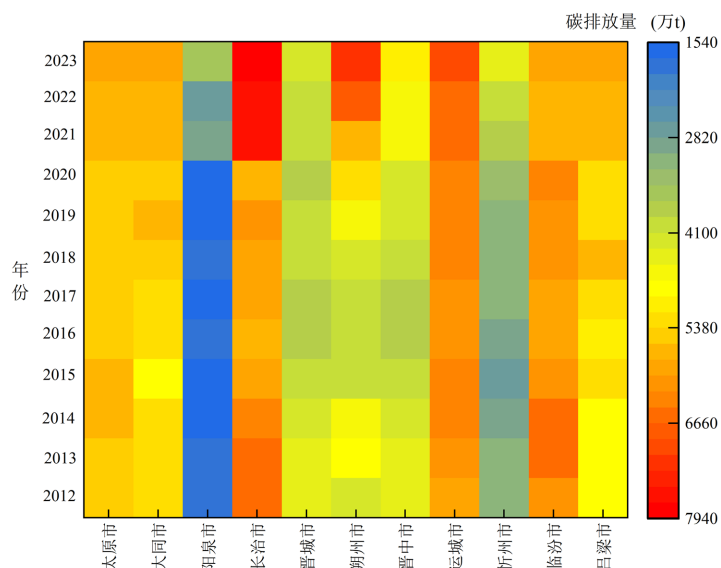


Figure 1. Total carbon emissions of prefecture-level cities in Shanxi province (2012-2023)

图 1. 山西省各地级市 2012-2023 年碳排放总量

4.1.2. 新型城镇化的动态演化分析

利用 Oringin 绘图软件绘制 2012~2023 年山西省 11 个地级市的新型城镇化水平热图(图 2), 由图 2 可知, 山西省各地级市的新型城镇化水平平均呈现缓慢的上升趋势, 其中, 太原市遥遥领先, 新型城镇化水平明显高于其他地级市, 其他各地级市新型城镇化水平相差不大, 得分均在 6 分以下, 2023 年新型城镇化水平最低的是吕梁市, 主要受限于地形、交通、人口、经济等条件的制约。从增速来看, 忻州市的新型城镇化水平提升最快, 增幅达 154.42%, 这与忻州市近年来不断改善城市基础设施、完善道路网络、提升城市品质息息相关; 其次是晋中、运城和长治市, 增幅都在 100%以上; 增幅最小的是阳泉市, 增速为 59.34%, 主要由于阳泉市本身新型城镇化水平起点较高, 故增速较慢。

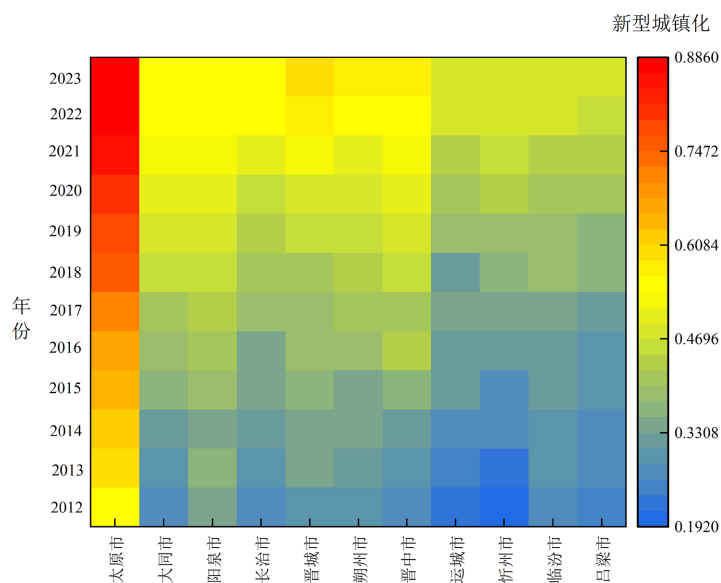


Figure 2. New-type urbanization levels of prefecture-level cities in Shanxi province (2012-2023)

图 2. 山西省各地级市 2012-2023 年新型城镇化水平

4.2. 碳排放与新型城镇化的耦合协调分析

4.2.1. 耦合协调程度分析

由耦合度可知(见图 3), 2012~2023 年山西省各地级市的耦合度均处于提升状态, 除阳泉市外, 山西省其余 10 个地级市的耦合度指数相差较小, 且差距随着时间推移不断变小, 2012 年阳泉市的耦合度为 0.6096, 最高的太原市为 0.9989, 到 2023 年, 山西省 11 个地级市的耦合度均在 0.9 以上, 表明山西省各地级市的碳排放和新型城镇化水平耦合度较高, 耦合作用不断增强。阳泉市由于碳排放量显著提升, 逐步与新型城镇化水平相耦合; 2012~2023 年, 仅太原市的耦合度一直保持在 0.99 以上, 大同市 2019 年之后耦合度也均在 0.99 以上, 表明太原市和大同市的碳排放与新型城镇化水平发展较同频, 新型城镇化的发展伴随着较高的碳排放量。

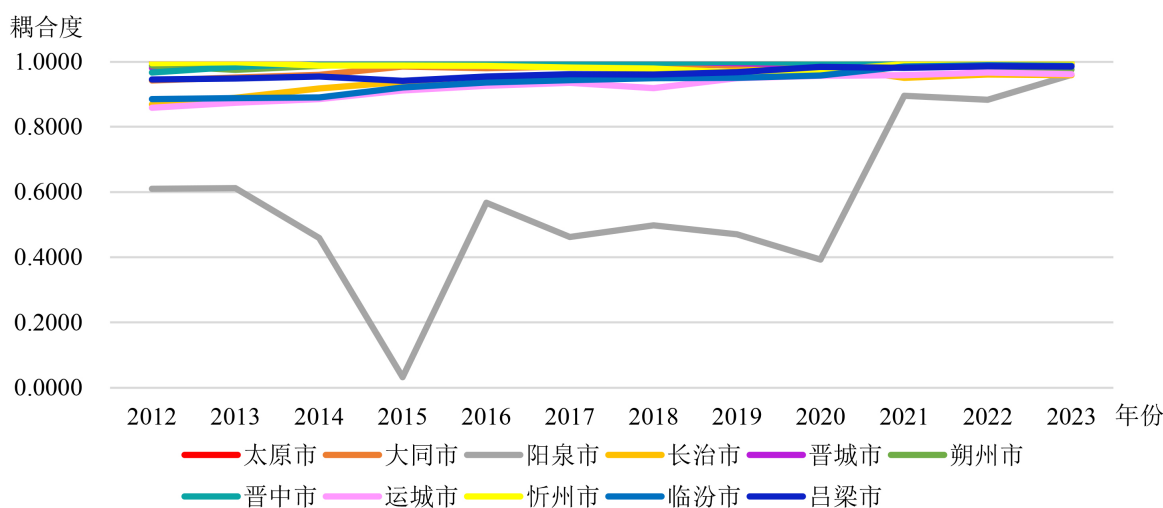


Figure 3. The coupling degree between carbon emissions and new-type urbanization in prefecture-level cities of Shanxi province (2012~2023)

图 3. 山西省各地级市 2012~2023 碳排放与新型城镇化的耦合度

在耦合度的基础上计算耦合协调度, 2012~2023 年山西省各地市的耦合协调度均呈现不断上升趋势, 以阳泉市上升最为显著, 其次是朔州市, 主要由于阳泉市和朔州市在新型城镇化水平稳步提升的同时, 碳排放量提升较快, 迎头追赶新型城镇化发展。山西省所有地级市中, 2023 年太原市、长治市、朔州市和运城市的耦合协调度较高, 均在 0.8 以上, 忻州市和阳泉市的耦合协调度虽一直在提升, 但仍旧处于山西省较低水平, 从表面来看, 忻州市和阳泉市的新型城镇化提升伴随着较低的碳排放, 但是阳泉市的新型城镇化水平提升缓慢, 忻州市的新型城镇化水平处于倒数状态, 因此根本上并未出现新型城镇化与低碳发展的良性互动。

4.2.2. 耦合协调类型划分

按照耦合协调度值划分山西省各地级市的耦合协调类型(见图 4), 山西省各地市的耦合协调趋势向好, 2012 年存在忻州市 1 个濒临失调和阳泉市 1 个轻度失调, 晋中市、朔州市和吕梁市 3 个勉强协调和 5 个初级协调, 仅太原市 1 个中级协调, 整体 2012 年山西省的碳排放与新型城镇化耦合协调发展类型以磨合阶段为主; 2018 年存在阳泉市 1 个轻度失调, 忻州市由濒临失调发展为勉强协调, 晋中市、朔州市和吕梁市由勉强协调发展为初级协调, 大同市、长治市、临汾市和运城市由初级协调发展为中级协调, 太原市由中级协调发展为良好协调, 整体 2018 年山西省的碳排放与新型城镇化耦合协调发展类型仍以磨合阶

段占优; 到 2023 年, 山西省已不存在失调发展类型, 磨合阶段的发展类型亦减少, 仅剩忻州市和阳泉市为初级协调, 整体以协调阶段为主, 良好协调的地级市由太原市 1 个增至太原市、朔州市、长治市和运城市 4 个, 尚不存在优质协调发展类型。

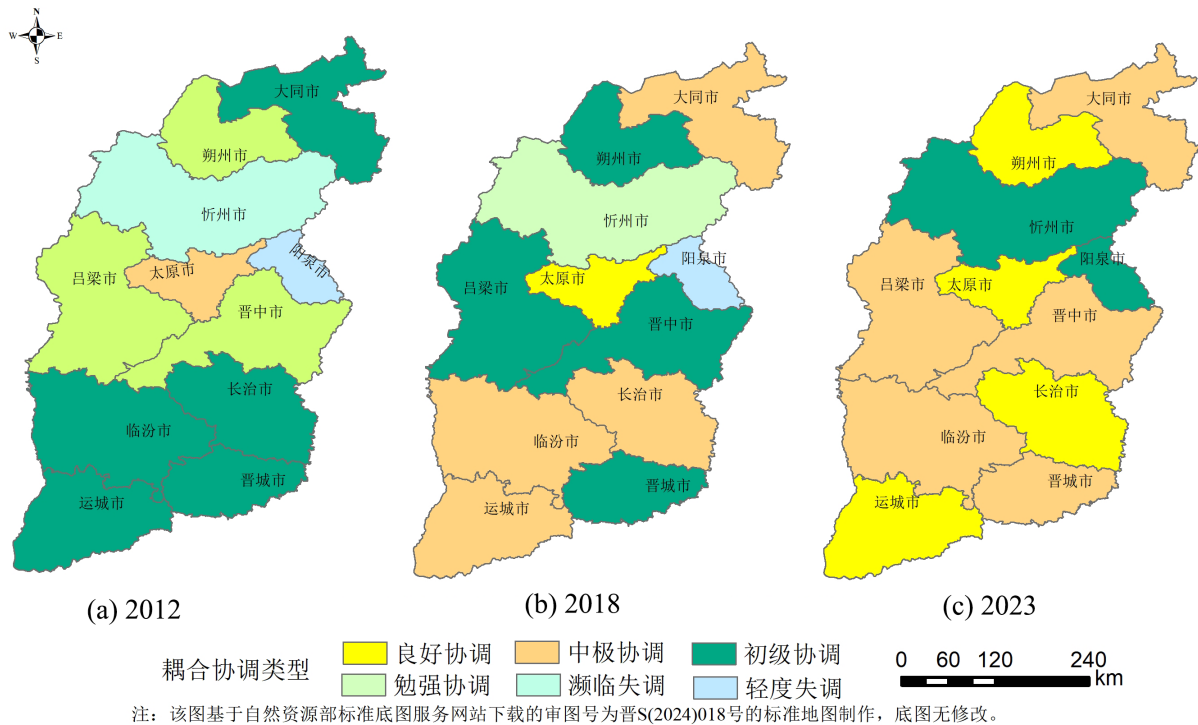


Figure 4. Coupling coordination types of carbon emissions and new-type urbanization in prefecture-level cities of Shanxi province (2012–2023)

图 4. 山西省各地级市 2012~2023 年碳排放与新型城镇化的耦合协调类型

4.2.3. 协调影响力分析

通过计算新型城镇化各子系统协调影响力可知(见图 5), 2012~2023 年各地市的新型城镇化子系统的协调影响力均为负值, 表明新型城镇化各子系统与碳排放的耦合协调性均低于新型城镇化与碳排放的综合耦合协调性, 表明各子系统对综合耦合协调性呈现出短板效应。新型城镇化各子系统来看, 空间城镇化子系统在 2012~2023 年间的短板效应明显加强, 其负作用力不断强化, 晋中市和运城市表现尤为明显, 由此可看出, 山西省各地级市空间城镇化即土地要素对于碳排放与新型城镇化的耦合协调发展起关键作用, 进一步印证了土地要素对于山西省低碳发展与新型城镇化进程的重要性; 其次是社会城镇化子系统, 2012~2023 年间的短板效应也得到加强, 忻州市最为显著; 人口、经济、生态、城乡统筹城镇化子系统虽呈现负向作用, 但短板效应 2012~2023 年间变化不大。各地区来看, 基本都是空间城镇化和社会城镇化对于综合协调度的短板效应大于人口、经济、生态、城乡统筹城镇化, 表明山西省各地市仍需在空间城镇化、社会城镇化方面加大工作力度, 打破现有格局, 有重点地推进新型城镇化, 有效降低碳排放。

5. 土地要素驱动下的山西省低碳城镇化发展路径

由前述研究结果可知, 山西省各地级市的空间城镇化(土地要素)对于碳排放与新型城镇化协调发展起到关键性的短板作用, 优化配置好土地要素, 成为打破山西省“煤-地-碳”路径依赖的战略支点, 推动山西实现从“以地谋增长”向“以地谋低碳”的转变。



Figure 5. The coordinating influence between carbon emissions and various subsystems of new-type urbanization from 2012 to 2023

图 5. 2012-2023 年碳排放与新型城镇化各子系统的协调影响力

1) 分类施策，构建差异化土地政策工具箱

针对碳排放与新型城镇化协调性较好的太原、长治、朔州、运城，土地政策以“存量更新 + 立体开发 + 产能融合”为核心，在城镇开发边界内全面推行“留改拆增”更新模式，严控新增建设用地指标；推动新建建筑执行超低能耗标准，在政府投资项目中试点近零碳建筑；在高新区的商业和工业用地区域，推广“工业上楼 + 地下管廊 + 屋顶光伏”三维开发模式；在高新区、经开区等区域试点“新能源标准地”供应，探索将风电、光伏装机容量纳入土地出让条件。

中级协调型城市(大同、吕梁、晋中、临汾、晋城), 土地政策聚焦“工矿废弃地协同利用 + 固废循环产业培育 + 氢能网络布局”, 在采煤塌陷区集中建设百万千瓦级风光电站, 配套电网汇集站, 实现“发电 - 修复 - 农林”立体开发, 土地供应采用“立体设权”模式; 煤矸石堆场改建为新型建材基地, 矿坑回填后发展生态农业; 在煤电、焦化企业集聚区设立“固废资源化产业园区”。针对吕梁、临汾重型货车密集特点, 在 G20 青银高速、G5 京昆高速沿线服务区布局“氢电合建站”, 通过调整用地性质(由交通场站用地改为综合能源用地), 允许配建光伏制氢设施。加氢站用地采用“弹性年期出让”。在晋城、临汾等煤层气富集区, 将抽采井场用地同步用于分布式制氢, 实现“气 - 氢”联产。

初级协调型城市(忻州、阳泉), 土地政策以“生态治理型新能源开发 + 低效用地整治提效”为主线, 将生态修复与绿色产业培育相结合。针对忻州河曲、保德等沿黄地区, 以及阳泉平定盐碱地, 推广“林光互补 + 草光互补”用地模式。试点“新能源生态银行”机制, 允许企业将光伏场区内的碳汇增量折算为建设用地指标, 优先用于低碳装备制造园区建设。对阳泉煤矿关闭矿区、忻州铁矿尾矿库等历史遗留废弃地, 采取“削坡填沟 - 土壤重构 - 产业植入”三级整治, 利用省级专项资金完成土地平整后, 划定为“低碳产业转型区”, 土地出让收益全部分配给县财政, 专项用于支持新能源项目; 采空区改建生态公园, 增强碳汇与雨洪调蓄功能。在忻州原平、阳泉盂县等县域, 推行“产业园区绿电配额制”。新建工业项目通过自有屋顶光伏或购买绿证, 否则不予供地。同时, 结合以县城为载体的城镇化建设, 在老旧小区改造中同步实施建筑绿色化改造, 将闲置边角地(如围墙退界区、屋顶)用于分布式光伏安装, 实现“零增地减排”。

2) 普适政策探索, 推动全省减碳发展

用地标准低碳化。探索实行用地供应挂钩, 新增工业用地出让时, 将单位产值碳强度(吨 CO_2 /万元)写入出让合同, 超标项目按差额征收生态补偿费。试行新增建设用地指标与批而未供土地处置率、低效工业用地再开发规模直接挂钩。

空间规划碳约束。严守“三区三线”(耕地、生态保护红线、城镇开发边界), 优化组团式城市布局, 控制建筑高度和密度, 避免城镇“摊大饼”发展。针对山西省工矿用地面积大的特点, 推行工矿用地减量置换, 建立腾退用地与碳汇空间挂钩机制(如每腾退 1 公顷工矿地, 30%转碳汇林, 50%布局新能源园), 释放闲置土地潜力。

土地整治增汇增效。农田整治同步实施“暗管排盐 + 生物炭土壤改良”, 降低耕地甲烷排放, 提升固碳能力。农村闲散地整合为“分布式能源微网”: 利用废弃宅基地布局村级光伏电站, 就近供应农业设施。

制度创新驱动减碳。实施“碳 - 地”双向调节, 对单位 GDP 碳强度年降较多的县市奖励一定用地指标, 高耗能项目用地供应缩减; 激活存量用地低碳更新, 给予税费减免等政策。试点土地集约度碳交易, 化解中小企业减排成本压力。将“单位建设用地碳强度”纳入市县考核, 绑定干部晋升与财政支付, 设定地均碳排的约束目标。风光基地“标准地”模式缩短审批周期, 装配式建筑要求写入土地合同。对分布式光伏项目减免土地租金, 农村清洁取暖设备补贴一定成本。

探索建立国土空间“碳账本”平台。集成遥感监测 + 物联网设备, 实时追踪每块土地的碳汇/碳排流量(如煤矿用地标红预警、林地绿奖励)。对接省级碳排放权交易市场, 实现“碳资产 - 土地资产”联动管理。

6. 展望

当前山西省各地市的新型城镇化水平提升仍伴随着高碳排放量, 土地要素对于碳排放与新型城镇化的耦合协调呈现出较大的短板效应, 且当前尚未出现扭转态势。山西省受限于土地紧缺, “高碳锁定”

与“城镇化提质”的博弈,是中国资源型地区实现绿色现代化的缩影。未来需深化土地要素与低碳城镇化的多尺度动态耦合机制研究,构建“地块-园区-城市”碳排放响应模型及政策仿真系统;重点突破数字孪生平台集成(融合遥感、能耗与光伏数据)和沉陷区碳封存协同技术;创新制度设计,探索修复用地碳汇跨省交易、集体土地入股绿电项目等市场化机制,结合“三线一单”动态管控、绿电用地指标交易等机制创新,持续提升土地要素的低碳承载力。通过融合复杂系统科学、地理空间技术与政策仿真方法,揭示“双碳”目标下资源型地区城镇化的低碳跃迁机理,最终探索出“以地控碳”的山西范式,为资源型地区提供“空间治理重构”的典型方案。

参考文献

- [1] 李雅. 典型红壤丘陵区土地利用变化对土壤 CO₂ 和 CH₄ 通量的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 西北师范大学, 2014.
- [2] 李青青, 甘永德, 刘艳强, 等. 灌丛草地生态系统非生长季碳通量及影响因素[J]. 环境科学与技术, 2025, 48(3): 1-9.
- [3] 丁佳丽, 王根绪, 吴碧琼, 等. 变化环境下青藏高原河流碳循环特征及其对区域碳循环的影响[J]. 冰川冻土, 2025, 47(2): 504-521.
- [4] 刘芳源, 陈洁, 高郭平. 中国东海区典型海岸带蓝碳生态系统时空变化及其碳储量评估[J]. 上海海洋大学学报, 2025, 34(4): 821-838.
- [5] 王大伟, 祁潇, 马颖忆, 等. 中国海洋资源碳汇能力评估及潜力分析[J]. 金陵科技学院学报, 2024, 40(4): 62-68.
- [6] 刘春英, 曹依, 王骏博, 等. 土地利用隐性形态对碳排放的影响研究——以长江中游城市群为例[J]. 土壤通报, 2024, 55(6): 1543-1554.
- [7] 陈雯铃, 许浩巍, 王静, 等. 福建省土地利用碳排放收支时空特征分析[J]. 中国资源综合利用, 2025, 43(6): 108-110.
- [8] 李莺莺, 盖艾鸿, 赵鹏伟, 等. 基于土地利用变化的庆阳市碳排放效应分析[J]. 河北工业科技, 2025, 42(3): 275-284.
- [9] 陈芳焱, 周启刚, 夏玉松, 等. 县级尺度下重庆市碳收支时空分异及碳综合补偿分区[J]. 水土保持研究, 2025, 32(4): 256-265+278.
- [10] 唐菁, 易露, 曾庆均. 长江经济带农业碳补偿率的时空演进特征及碳补偿潜力预测[J]. 环境科学, 2024, 45(11): 6378-6391.
- [11] 郭振敏, 汲玉河, 周广胜, 等. 基于机器学习的兴安落叶松生态系统在不同时间尺度的碳通量模拟及影响因素分析[J]. 生态学报, 2025(16): 1-15.
- [12] 杨德文, 高铭阳, 张碧君, 等. 基于 PLUS-InVEST 模型的小兴安岭地区土地利用模拟与碳储量评估[J]. 水土保持通报, 2025, 45(3): 286-294+306.
- [13] 赵俊杰. 成渝双城经济圈新型城镇化与碳排放的时空耦合关系[J]. 节能, 2025, 44(2): 112-115.
- [14] 宣荣静. 黄河流域新型城镇化与碳排放水平的时空耦合研究[J]. 价值工程, 2024, 43(20): 162-164.
- [15] 赵兴洪, 帅红. 成渝城市群碳排放强度与新型城镇化水平耦合协调度时空演变及影响因素[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2025, 48(1): 37-46.
- [16] 陈心怡, 卢怡青, 陈肖童, 等. 浙江省碳排放与人口经济动态耦合特征及影响因素研究[J]. 绿色科技, 2025, 27(9): 249-253+260.
- [17] 刘苗苗, 吴卫东. 陕西省新型城镇化与乡村振兴耦合性实证研究[J]. 干旱区地理, 2024, 47(8): 1420-1430.
- [18] 程鹏, 王灏, 吴诗曼, 等. 新型城镇化与耕地利用碳排放空间交互与脱钩效应分析——以长江经济带三大城市群为例[J]. 生态经济, 2025, 41(7): 101-114.
- [19] 周闯, 郑旭刚, 杨尚菲. 新型城镇化与乡村振兴的共同演化及其市民化效应[J]. 地理研究, 2024, 43(12): 3265-3288.
- [20] 杨丽, 孙之淳. 基于熵值法的西部新型城镇化发展水平测评[J]. 经济问题, 2015(3): 115-119.
- [21] 徐文凤, 江晶, 黄鑫, 等. 甘肃省新型城镇化与土地利用碳排放安全耦合关系研究[J]. 自然资源情报, 2023(4): 57-64.

- [22] 刘海龙, 王改艳, 张鹏航, 等. 汾河流域新型城镇化与生态韧性耦合协调时空演变及协调影响力研究[J]. 自然资源学报, 2024, 39(3): 640-667.
- [23] 王少剑, 崔子恬, 林靖杰, 等. 珠三角地区城镇化与生态韧性的耦合协调研究[J]. 地理学报, 2021, 76(4): 973-991.