

# 新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调的 时空演变特征与影响因素

孔芳霞<sup>1</sup>, 刘新智<sup>\*1,2</sup>, 周韩梅<sup>1</sup>, 何强<sup>3</sup>

(1. 西南大学 经济管理学院, 中国 重庆 400715; 2. 西南大学 中国西部非公经济发展与扶贫反哺协同创新中心, 中国 重庆 400715; 3. 四川农业大学 经济学院, 中国四川 成都 611130)

**摘要:**新型基础设施建设与城市绿色发展之间联系密切。文章在构建评价指标体系与分析二者耦合机理基础上, 采用熵权法、非期望产出的全局 Super-SBM 模型、耦合协调模型测算 2005—2019 年中国大陆 280 个地级以上城市新型基础设施建设与绿色发展的协调度, 并进一步分析其时空演变特征与影响因素。结果表明: ①新型基础设施建设水平呈上升的时序变化, 在空间格局上呈“南北低、西低东高”特征。城市绿色发展水平表现为“下降再上升”的时序变化趋势, 并呈“东西南北高、中部塌陷”空间结构。②新型基础设施建设与城市绿色发展协调度不断攀升, 由多极化转向单极化发展态势, 并呈东北方向“陷落”的空间格局。③新型基础设施建设与城市绿色发展协调度具有显著的空间正相关性, 而随着时间推移, 协调度局部集聚特征减弱, 趋向均衡发展。④经济发展、产业结构、环境规制、科学技术、对外开放度与城镇化水平是影响二者协调发展的重要因素, 且作用强度存在区域异质性。

**关键词:**新型基础设施建设; 城市绿色发展; 耦合协调; 时空演变; 对外开放度; 城镇化水平

**中图分类号:**F299.24 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-8462(2022)09-0022-11

**DOI:**10.15957/j.cnki.jjdl.2022.09.003

## Spatio-temporal Evolution Characteristics and Influencing Factors of the Coupling Coordination Between New Infrastructure Construction and Urban Green Development

KONG Fangxia<sup>1</sup>, LIU Xinzhi<sup>\*1,2</sup>, ZHOU Hanmei<sup>1</sup>, HE Qiang<sup>3</sup>

(1. College of Economics and Management, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Innovation Center of Non-public Economic Development and Anti-compensation for Poverty in West China, Southwest University, Chongqing 400715, China; 3. College of Economics, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, Sichuan, China)

**Abstract:** There is a close relationship between new infrastructure construction and urban green development. On the basis of constructing an evaluation index system for the two and analyzing their coupling mechanism, the research adopts the entropy weight method, the global Super-SBM model of undesired output and the coupling coordination model to measure the coordination degree between the new infrastructure construction and urban green development in 280 cities above the prefecture level from 2005 to 2019, and analyzes the spatio-temporal evolution characteristics and influencing factors. The results show that: 1) The level of new infrastructure construction shows an upward temporal change, and the spatial pattern is characterized by "low in the north and south, low in the west, high in the east". The level of urban green development shows a time-series trend of "falling and then rising", and has a spatial structure of "high in the east, west, north and south, and low in the middle". 2) The coordination degree between the new infrastructure construction and the urban green development continues to rise, from the multi-polarization development to the unipolar development, with a spatial pattern of "falling down" in the northeast direction. 3) There is a significant positive spatial correlation between new infrastructure construction and urban green development. As time goes by, the local agglomeration of coordination degree weakens and tends to develop in a balanced manner. 4) Economic development, industrial structure, environmental regulation, science and technology, opening degree and urbanization level are important factors that affect the coordinated development of the two, and there is regional heterogeneity in the intensity of their effects.

**Keywords:** new infrastructure construction; urban green development; coupling coordination; spatio-temporal evolution; opening degree; urbanization level

收稿时间: 2022-03-16; 修回时间: 2022-05-19

基金项目: 国家社会科学基金重大招标项目(20&ZD095); 重庆市社会科学规划成渝地区双城经济圈建设重大项目(2021ZDSC04); 重庆市技术预见与制度创新项目(cste2021jsyj-zzysbAX0019); 重庆市教委人文社会科学研究项目; 重庆市研究生科研创新项目(CYB22272)

作者简介: 孔芳霞(1995—), 女, 四川遂宁人, 博士研究生, 研究方向为区域可持续发展。E-mail: kf199502@163.com

\*通讯作者: 刘新智(1977—), 男, 山东烟台人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为城乡融合与绿色发展。E-mail: liuxinzhizhi@163.com

新型基础设施以“技术创新”为底色,以数字化、网络化、智能化为支撑,给经济社会发展转型带来新动能,为全面建设社会主义现代化国家奠定坚实基础。城市作为现代化的重要载体,由于前期城市化进程快速推进与粗放发展,“城市病”逐渐显现且呈蔓延之势,迫切需要以城市绿色发展推动“城市病”治理。而城市本质是一种通过基础设施和公共服务的集中供给,在空间、环境、能源等有限资源条件下实现生产效率和居民幸福感提升的复杂功能网络平台。由数字化、网络化、智能化的新型基础设施建设为支撑,推进城市运营和治理的精细化、现代化,将有效缓解有限基础设施和服务能力与高速增长需求不匹配引发的“城市病”。绿色发展作为高质量发展的重要引擎,是实现经济社会发展与生态环境保护协同共进的重要发展理念,也是新型基础设施建设的必然要求。在构建现代化基础设施体系与推进美丽中国建设的时代背景下,正确认识新型基础设施建设与城市绿色发展的耦合协调关系,对城市“治病健体”“转型升级”以及推进城市高质量发展有重要意义。

新型基础设施本质是信息数字化的基础设施,与传统基础设施最大不同在于技术先进性以及建设更高效的时空网络为主<sup>[1-2]</sup>。新型基础设施建设不是摒弃传统基础设施,而是一方面布局全新的信息化、智能化、绿色化的智能信息基础设施,如5G基建、大数据中心等,另一方面利用新一代信息技术对传统基础设施进行数字化、网络化、智能化、绿色化升级改造<sup>[3]</sup>。绿色发展则是强调经济发展与保护环境、资源可持续利用的统一与协调,保护和恢复自然生态系统,解决人类在发展过程中出现的各种资源环境问题<sup>[4-6]</sup>。通过梳理已有文献来看,当前关于二者关系的研究多为某类新型基础设施建设对绿色发展单向影响,主要集中在高铁、互联网普及以及智慧城市建设等方面。高铁网络、互联网以及智慧城市建设能够通过技术创新、改善资源配置、优化产业结构显著影响城市绿色发展<sup>[7-10]</sup>。而以数字化、智能化、绿色化为支撑的新型基础设施建设,有助于提升政府治理、经济体系、社会治理体系、能源体系和公共卫生安全体系等治理效能<sup>[11]</sup>,演绎出新的城市空间组织态势<sup>[12]</sup>,在城市交通出行、产业发展、智能与环保等方面改善城市发展质量。

关于新型基础设施建设与城市绿色发展的测度。关于新型基础设施研究主要集中于全国或省

级层面,囿于数据可获得性,现有研究主要选取信息传输、软件和信息技术服务业等相关行业固定资产投资加以衡量,如尚文思选用电力供应业、铁路运输业、互联网和相关服务业、软件和信息技术服务业四类行业的固定资本存量作为广义、狭义“新基建”投资的代理变量<sup>[2]</sup>。姜卫民等选取“电力、煤气及水的生产和供应业”“交通运输、仓储和邮政业”“信息传输、计算机服务与软件业”“水利、环境和公共设施管理”和“卫生和社会工作”固定资产投资作为“新基建”衡量指标<sup>[13]</sup>。而关于绿色发展水平的测度,前期研究累积了诸多评价方法,主要以绿色发展效率测算与构建综合指标评价应用最为广泛。绿色发展效率测算主要采用数据包络分析法,如EBM模型<sup>[14]</sup>、非期望产出的DEA-SBM模型<sup>[15-16]</sup>、非期望产出的超效率SBM模型<sup>[17-19]</sup>等测算城市绿色发展效率。而绿色发展综合评价指标体系构建主要从经济、社会、生态三个维度开展,如“经济—社会—生态”三维体系<sup>[20-22]</sup>、“压力—状态—响应”的PSR模型<sup>[23]</sup>等。

总体来看,现有文献对新型基础设施建设与城市绿色发展的关系研究已有拓展,但仍存改进空间:①现有研究关于新型基础设施建设的效应研究主要集中在全国和省级层面,缺乏城市层面的新型基础设施建设测度研究。②以往研究主要关注新型基础设施某一方面对绿色发展的关系识别,且关于新型基础设施建设与绿色发展的关系研究多停留在理论层面上,缺乏对两者关联发展整体趋势的把握。③推进新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调的影响因素需进一步考察。基于此,本文以中国大陆280个地级以上城市为研究对象,系统分析新型基础设施建设与城市绿色发展耦合机理基础上,构建二者评价指标体系,运用熵权法、非期望产出的全局超效率SBM模型分别测算新型基础设施建设与城市绿色发展水平,并运用耦合协调模型测度中国大陆280个地级以上城市2005—2019年新型基础设施建设与绿色发展的耦合协调度,综合采用核密度估计、空间统计分析等方法分析新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的时空趋势特征,为探索建设现代化基础设施体系与推进城市绿色发展的协同政策提供量化支撑。

## 1 耦合机理与研究方法

### 1.1 新型基础设施建设与城市绿色发展的耦合机理分析

新型基础设施以“技术创新”为底色,是经济发展动能转换与促进污染物排放削减的重要驱动力,为城市绿色发展提供新引擎。首先,新型基础设施广泛应用将压缩要素、资源流动时间与空间限制,使得远距离的空间联系不再受限,促使资金流、物流、信息流等调节更加充分,从广度和深度上做到跨区域资源要素的有效整合,调节优化资源要素配置。其次,5G、大数据、人工智能、物联网等新一代信息技术与实体经济融合发展,推动产业链上下游数字化转型,有效推动产业分工网络化以及生产定制化,提高资本、劳动、能源等生产要素的利用效率,减少污染物排放,提升生态环境质量。再次,新一代信息技术的应用有利于加强对水、气、土、噪声、辐射等城市生态环境数据的实时获取、分析和研判,利用数字化模拟生态资源治理,提升生态资源数字化管控能力,以便于实施修复工程改善生态环境。最后,基础设施建设的转型与发展,为社会经济活动及相关要素在空间上提供吸引力与推动力,提升城市空间的外延性扩张以及内涵性增值,促进城市空间结构趋向多中心化,缓解城市规模扩大和人口过度集中所导致生活成本上升、环境污染、交通拥堵等“城市病”,助推城市绿色发展。

绿色发展是新型基础设施建设的必然要求,也为传统基础设施转型升级提供了方向。首先,在绿色发展理念下,生态环境保护是包括新型基础设施在内的所有产业形态发展的重要前提,而新型基础设施区别于传统基础设施的关键,在于对现实场景的数字化升级以及数据信息的结构化整合,一定程度摆脱了对自然物理条件的过度依赖,提升了数据流通的效率和质量,是更深层次的循环可持续,暗合了绿色发展的内涵要求。其次,在经济发展转型及生态恶化的双重压力下,5G、数据中心、工业互联网等高能耗业态建设过程中,亟需加大节能工作力度,改进工艺、加快创新,提高能效水平,降低资源消耗、减少环境污染,引导科技朝着有利于绿色经济的方向发展,促进数字化、智能化建设与经济社会发展相协调,增强绿色发展能力。最后,人类文明正在由工业文明向生态文明转型,新型基础设施建设具有典型的新时代特征,要构建成为集约高效、经济适用、智能绿色、安全可靠的现代基础设施体系,须聚焦应用生态化技术和手段,不仅要大力推进新的基础设施绿色建设,还应积极开展传统基础设施的绿色化改造工作,以更生态化的手段解决城市问题。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 耦合协调模型

借用物理学中的耦合概念及模型,参考丛晓男的研究<sup>[24]</sup>,构建新型基础设施建设与城市绿色发展的耦合度模型:

$$C = 2 \times \left[ \frac{Q_1 \times Q_2}{(Q_1 + Q_2)^2} \right]^{1/2} \quad (1)$$

式中: $C$ 为新型基础设施建设与城市绿色发展间的耦合度, $C \in [0,1]$ , $C$ 的数值越大,表明耦合度越高; $Q_1$ 、 $Q_2$ 分别代表新型基础设施建设与城市绿色发展水平。

在此基础上,引入耦合协调度模型测算二者协调发展水平,计算公式如下:

$$D = \sqrt{C \times T}, T = \alpha Q_1 + \beta Q_2 \quad (2)$$

式中: $D$ 为新型基础设施建设与城市绿色发展的耦合协调度, $D \in [0,1]$ , $D$ 数值越大协调度越高; $T$ 为二者综合协调指数; $\alpha$ 、 $\beta$ 为待定系数。在本文研究中,认为新型基础设施建设与城市绿色发展是同等重要的,故 $\alpha = \beta = 1/2$ 。

### 1.2.2 非参数核密度估计

为了考察新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的时序动态演进特征,本文采用核密度估计曲线来表现二者协调度的分布形态、位置与延伸性等。非参数 Kernel 核密度估计是一种用于估计概率密度函数的方法,以连续密度曲线来刻画随机变量的分布形态,较直方图而言估计结果的连续性更好。其公式为:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x - x_i}{h}\right) \quad (3)$$

式中: $f(x)$ 为新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的概率密度函数估计; $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为 $n$ 个样本点; $h$ 为带宽; $K$ 为核函数,采用高斯核函数。

### 1.2.3 空间统计分析

空间自相关可以用来考察新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的集聚特征与空间演化形态。空间自相关分析分为全局空间自相关(Global Moran's  $I$ )、局部空间自相关(Local Moran's  $I$ ),其中,Global Moran's  $I$ 指数可以考察新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的空间关联特征;Local Moran's  $I$ 指数主要用来识别某一城市协调度与邻近城市是否存在高(低)值集聚,进而发现新型基础设施建设与城市绿色发展的空间依赖性与异质性特征,具体计算步骤详见相关文献<sup>[16]</sup>。

### 1.2.4 Tobit面板回归模型

鉴于新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调值位于0~1之间,具有切割与阶段特点。而Tobit模型能很好地解决因变量受限问题,被广泛应用于多元线性回归模型中,故本研究采用面板Tobit回归分析检验新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调的影响因素,其具体计算步骤详见相关文献<sup>[25]</sup>。

### 1.3 评价指标体系构建与数据来源

#### 1.3.1 新型基础设施建设评价指标选取

从国家发展和改革委员会关于新型基础设施的界定来看,新型基础设施主要包括信息基础设施、融合基础设施、创新基础设施三类。信息基础设施主要指基于新一代信息技术的基础设施,包括5G网络、数据中心、工业互联网、物联网等,参考尚文思研究<sup>[2]</sup>,以信息传输、软件和信息技术服务业固定资产投资表征。融合基础设施则是基于新一代信息技术对传统基础设施进行转型升级,满足新时代基础设施的“补短板”要求,参考伍先福等相关研究<sup>[26]</sup>,以“新”基建与“老”基建融合系数加以衡量,计算过程见表1。创新基础设施则是新一代信息技术赋能科教、产业等领域的基础设施,以科学研究和技术服务业、卫生和社会工作固定资产投资加以表征。从此三类构建新型基础设施建设水平评价体系(表1),表中关于熵权法的计算公式见相关文献<sup>[27]</sup>。

#### 1.3.2 城市绿色发展评价指标选取

绿色发展以可持续发展为目标导向,以推进经济社会发展与生态环境保护协调发展为方向,以打造资源节约、环境友好的绿色生产、生活方式为表现形式,在发展过程中谋求最大的经济效益、社会效益与环境效益<sup>[28-29]</sup>。绿色发展效率不仅考虑到生产过程中投入产出要素的最优化配置,同时考虑到生产的负外部性,即生态环境污染情况,综合反映了经济—社会—生态系统间协调发展状况<sup>[30]</sup>。故本研究以绿色发展效率衡量城市绿色发展水平。同时,从资源环境约束的角度,选取全局超效率SBM模型来测度绿色发展效率,此模型考虑到效率评价存在的松弛型问题的同时,既可实现跨期比较,又能识别有效决策单元相对有效性,具体模型详见相关文献<sup>[31]</sup>。关于投入、产出指标的选取,参考周亮、韩永楠等的研究<sup>[16,32]</sup>,以资本、劳动、技术、资源为投入要素,具体地,以固定资产存量为资本投入,以年末单位从业人数作为劳动投入,以专利申请授权量为技术投入,以水、土地、能源作为资源投入。期望产出则以经济效益、社会效益、环境效益等“好”产出表征,非期望产出以生产过程的废弃物排放量表示。具体指标变量见表2。

#### 1.3.3 数据来源

由于数据制约,新型基础设施建设采用统计年鉴中的相关行业固定资产投资加以衡量。即使前期的相关行业固定资产投资不属于新型基础设施的范畴,但后期软件或硬件的新型基础设施建设都是基于前期技术基础上的创新产物,因而以相关行业

表1 新型基础设施建设水平评价指标体系

Tab.1 Evaluation index system of new infrastructure construction level

目标层	维度层	计算过程
新型基础设施	信息基础设施	信息传输、软件和信息技术服务业固定资产投资
	融合基础设施	①传统基础设施:括电力、热力、燃气及水的生产和供应业,交通运输、仓储和邮政业,水利、环境和公共设施管理业;以熵权法计算综合指数。②“纯”新基建:信息基础设施+创新基础设施;以熵权法计算综合指数。③融合系数:“老基建”与“纯”新基建”的耦合度。④融合基建:融合系数·“老基建”固定资产投资
	创新基础设施	科学研究和技术服务业固定资产投资+卫生和社会工作固定资产投资

表2 城市绿色发展效率测算指标选取

Tab.2 Indicator selection of urban green development efficiency

类型	一级指标	二级指标	三级指标
投入	资本要素	固定资本存量	全社会固定资产投资总额
	劳动力要素	单位从业人数	年末单位从业人数
职工	技术要素	专利授权量	专利申请授权量
	资源要素	水、土地、能源消费量	供水总量、城市建成区面积、全社会用电量、人工和天然气供气量、液化气供应量
产出	期望产出	经济效益	GDP
		社会效益	城市职工平均工资、社会消费品零售总额
	环境效益	建成区绿化覆盖率、一般工业固体废物综合利用率、污水处理厂集中处理率、生活垃圾无害化处理率	
非期望产出	环境污染	工业废水排放量、工业SO <sub>2</sub> 排放量、工业烟(粉)尘排放量	

固定资产投资作为新型基础设施建设的代理变量。同时,基于数据可获得性,研究样本为2005—2019年中国大陆280个地级以上城市的市辖区。研究原始数据源于《中国城市建设统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国区域统计年鉴》以及相关地级市统计年鉴。此外,由于个别指标统计口径仅有全市口径,因而使用全市指标代替市辖区指标;固定资产投资以2003年固定资产投资价格指数为基期进行平减,GDP以价格指数进行平减。

## 2 新型基础设施建设与城市绿色发展水平分析

基于评价指标体系,运用熵权法、非期望产出的全局超效率SBM模型分别测算了2005—2019年新型基础设施建设与城市绿色发展的综合值(表3)。同时,利用ArcGIS软件的自然断裂法,将2005—2019年新型基础设施建设与城市绿色发展水平的平均值划分为4个层次(图1),以探讨其空间格局特征。

### 2.1 新型基础设施建设水平分析

新型基础设施建设整体水平偏低且区域差异显著。2005—2019年,新型基础设施建设水平整体呈上升趋势且波动较小,但整体水平较低,由2005年的0.010提升至2019年的0.076。由图1知,北京、广州、天津、长沙、重庆位于第一层次,新型基础

设施建设水平分别为0.271、0.201、0.217、0.186、0.217,其中北京、天津、长沙、重庆是融会贯通东西南北的综合交通枢纽,基础设施建设投入相对较高,而广州身处改革开放前沿阵地,致力于建设高水平国际综合交通枢纽,因而跻身前列。位于第二层次的主要分布于东部地区以及内陆地区的省会城市等,如东部地区的上海、深圳、吉林、福州等,以及内陆地区的成都、西安、贵阳、郑州等城市。处于第三层次的城市在东部沿海地区呈片状发展态势,在华北地区以及内陆地区呈现组团发展趋势,主要是围绕在第一、二层次城市周围,呈现较为明显的近邻效应。位于第四层次的城市在东南方向呈现连片发展态势,在东北、西北、西南方向呈组团发展趋势,新型基础设施建设水平较低。总体上,新型基础设施建设水平呈现“南北低、西低东高”的空间格局。

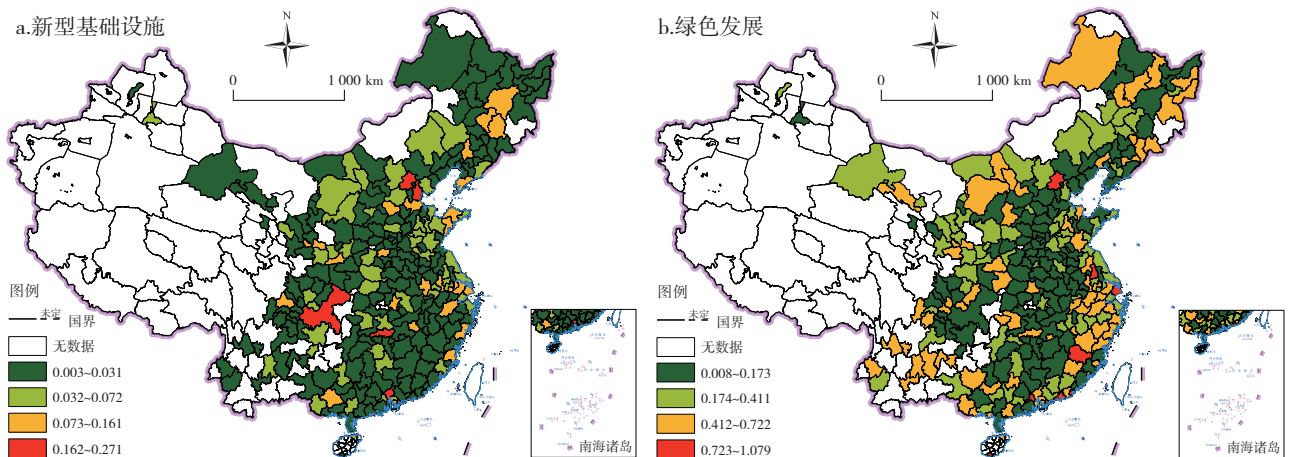
### 2.2 城市绿色发展水平分析

城市绿色发展水平整体上呈“U”型变化特征且区域差异明显。2005—2019年,城市绿色发展水平呈现“下降再上升”的变化态势,由2005年的0.341下降至2015年的0.243,再上升至2019年的0.425。由图1可知,城市绿色发展水平区域差异显著,逐渐形成“东西南北高、中部塌陷”的空间结构特征。处于第一层次的城市主要位于东部地区,如北京、上海、三亚、扬州、佛山等城市,城市绿色发展水平

表3 新型基础设施建设与城市绿色发展的综合值

Tab.3 Comprehensive value of new infrastructure construction and urban green development

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
新型基础设施	0.010	0.010	0.012	0.013	0.015	0.021	0.024	0.024	0.033	0.038	0.045	0.055	0.069	0.076	0.076
城市绿色发展	0.341	0.302	0.303	0.322	0.292	0.303	0.296	0.280	0.248	0.263	0.243	0.298	0.269	0.293	0.425



注:基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2020)4630号的标准地图制作。图3、图4同。

图1 新型基础设施建设与城市绿色发展的空间分布

Fig.1 Spatial distribution of new infrastructure construction and urban green development

分别为0.728、0.941、0.805、0.725、0.839。处于第二层次的城市主要分布于东部沿海、东北、西南地区,以及包括西北、内蒙古的部分城市。在区位优势与政策优势的双重推动下,东部沿海地区产业更新升级相对较快,第三产业等配套服务业发展较为完善,通过技术更新在资源能源利用、环境治理等方面取得较大进步。同时,随着东北振兴、西部大开发战略的深入推进,东北、西南地区以及西北的部分城市经济发展动能转换取得较大进步,投入要素配置不断优化升级,期望产出持续增加,环境污染等非期望产出不断降低,城市绿色发展水平不断提升。位于第三层次城市主要邻近第一、二层次城市,呈现明显的近邻效应,逐渐在东、西部呈连片发展态势。处于第四层次的城市主要集中于中部地区,中部地区资源丰富度比不上西部地区,而在投入、产出效率等方面又滞后于东部地区,因而城市绿色发展水平相对较低。

### 3 新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调的时空格局分析

#### 3.1 新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的时序变化特征

绘制出2005、2010、2015、2019年新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的核密度曲线(图2),依据核密度估计曲线的位置、形态、峰值以及延伸性变化,揭示二者协调度的时序动态演进规律。

新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的动态演进趋势。①从曲线位置变化来看,2005—2019年核密度曲线逐渐向右迁移,说明新型基础设施建设与城市绿色发展协调度呈不断上升的演进态势。②从曲线波峰数量来看,2005、2010年核密度曲线存在较为明显主峰与次峰共存的现象,2015、2019年曲线次峰峰度逐渐平缓,表明新型基础设施建设与城市绿色发展协调度呈现由多极化转向单极化变化趋势。③从曲线波峰峰度来说,2005—2015年曲线峰度呈现轻微的“上升—下降”趋势,2015—2019年表现出明显的下降趋势,表明协调度地区差异呈现出缩小趋势。④从曲线拖尾来看,2005—2019年曲线右侧拖尾大于左侧拖尾,且右侧拖尾呈现加长、抬厚趋势,说明高值区协调度有所提升,高值区城市数量占比增加。由此可见,不同阶段新型基础设施建设与城市绿色发展协调度具有不同发展水平、极化特征,但总体上呈不断提升的演进特征,逐渐趋向平衡发展态势。

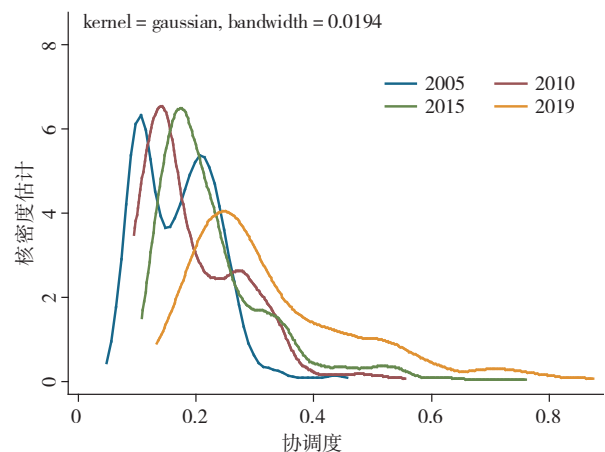


图2 新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的核密度估计曲线

Fig.2 Kernel density estimation curve of the coordination degree between new infrastructure construction and urban green development

#### 3.2 新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的空间演变特征

##### 3.2.1 新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的空间分布特征

利用 ArcGIS 软件自然断点法将2005、2010、2015、2019年新型基础设施建设与城市绿色发展协调度分为高、较高、中等、较低、低五个层级(图3),分析其空间演变特征。

总体上,2005—2019年,新型基础设施建设与城市绿色发展协调度高与较高水平呈现“分散分布—组团分布”的空间演进特征。2005年,无二者协调度较高、高的城市,主要为连片分布的较低和低水平城市,以及分散分布的中等水平协调度城市,如深圳、佛山、东莞、崇左、海口等。到2010年,新型基础设施建设与城市绿色发展协调度较低和低水平城市占比收缩,中等协调度城市呈现组团发展态势,主要分布于华南、西南、华北地区,较高水平协调度城市初现,如深圳等。2015年,低水平协调度城市分散分布,较低水平协调度城市呈片状分布,中等水平城市主要分布于东、西部地区,且在西部地区呈组团分布态势,较高水平协调度地区处于分散分布状态,如西安、扬州、长春、长沙、呼和浩特、包头等城市,且高水平协调度城市出现。到2019年,中等水平协调度城市占比不断上升,在华东、西南、西北地区组团发展态势越发明显,在华中地区呈现分散分布态势,较低与低水平协调度城市主要分布于东北方向,较高水平协调度的城市也初具组团发展状态,而高水平协调度城市表现为分散

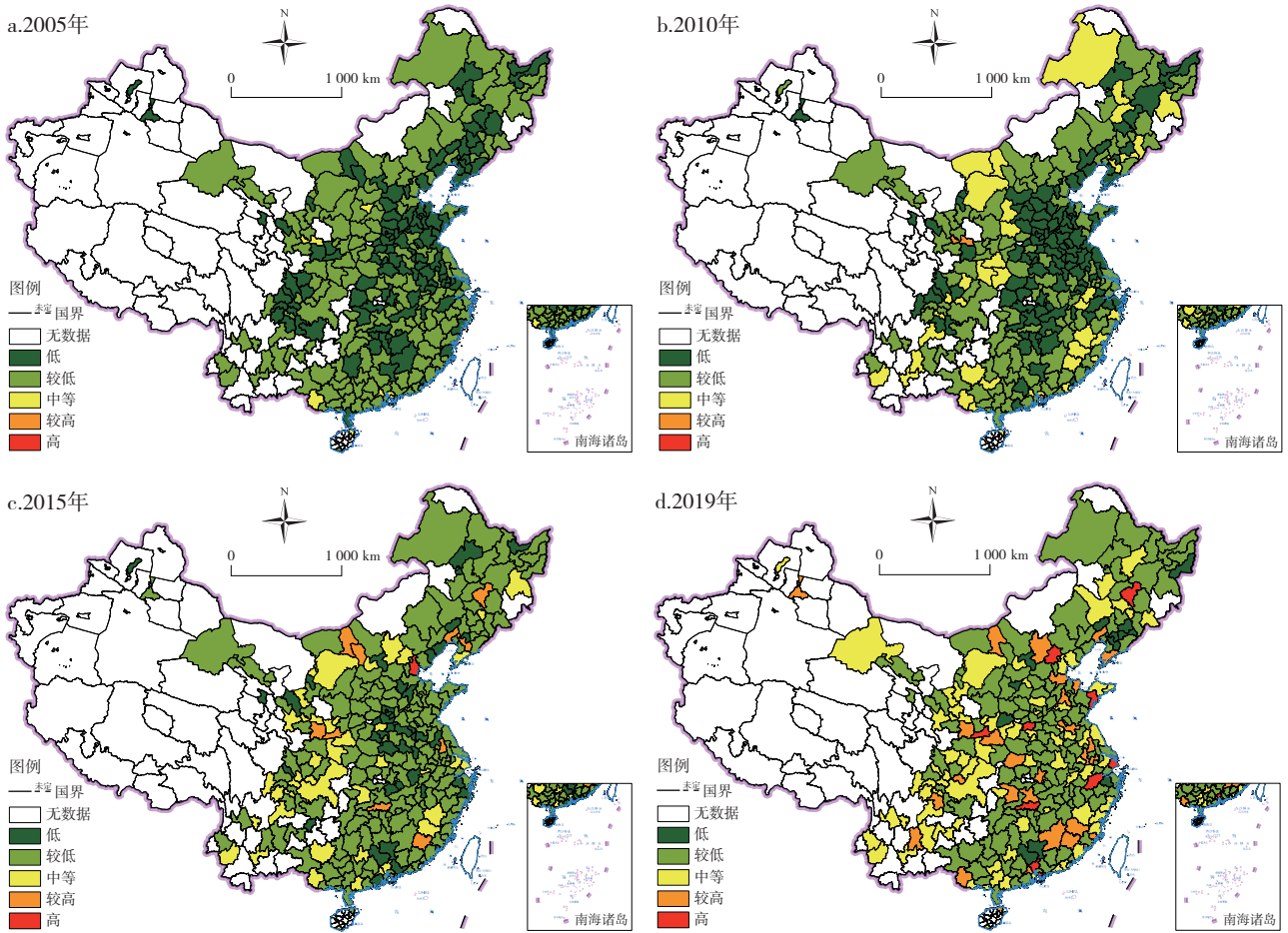


图3 新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的空间分布

Fig.3 Spatial distribution of coordination degree between new infrastructure construction and urban green development

分布趋势,如北京、广州、杭州、青岛、上海、深圳、西安、郑州等。综上,2005—2019年,新型基础设施建设与城市绿色发展协调度空间格局演进明显,二者协调度水平不断提升,低水平协调区逐渐消失,逐渐发展成为高、较高、中等水平协调区,而较低水平协调区呈现东北方向分布,逐渐形成东北方向“陷落”的空间结构特征。

### 3.2.2 新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的空间关联特征

由新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的全局 Moran's *I* 指数值可知(表4),在考察期内, Moran's *I* 指数值均大于0, *P* 值均小于0.05,说明新型基础设施建设与城市绿色发展协调度具有显著的空间正相关性,即协调度高(低)的城市相互邻近,呈现集聚发展态势。同时,随着时间变化, Moran's *I* 指数值逐渐减小,也说明二者协调度的空间集聚态势正逐渐减弱。为进一步考察新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的局部空间集聚特征,分别计算2005、2010、2015和2019年新型基础

设施建设与城市绿色发展协调度的局部空间关联指数值,并绘制LISA集聚图(图4)。

表4 新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的全局 Moran's *I* 值

Tab.4 Global Moran's *I* value of coordination degree between new infrastructure construction and urban green development

年份	Moran's <i>I</i>	Z	P	年份	Moran's <i>I</i>	Z	P
2005	0.200	11.162	0.000	2013	0.204	11.408	0.000
2006	0.194	10.838	0.000	2014	0.159	8.965	0.000
2007	0.227	12.693	0.000	2015	0.125	6.163	0.000
2008	0.220	12.301	0.000	2016	0.082	4.124	0.000
2009	0.231	12.863	0.000	2017	0.040	2.425	0.015
2010	0.251	13.966	0.000	2018	0.046	2.743	0.006
2011	0.236	13.147	0.000	2019	0.032	1.965	0.049
2012	0.194	10.850	0.000	-	-	-	-

由图4知,2005年,高一高集聚区主要分布于东南沿海地区的福建、广东、广西,以及西北地区的陕西、甘肃的部分城市。低—低集聚区主要集中在华东地区的江苏、山东,东北地区的辽宁,以及华中地区的河南、湖北等的部分城市,这些地区持续增

强基础设施建设投入,追求经济增长,忽视生态环境保护,造成新型基础设施建设与城市绿色发展协调度较低。高一低与低一高集聚区穿插在高一高与低一低集聚区中,且数量相对较少。2005—2010年,低一低集聚区主要分布于东、中部地区的山东、江苏、安徽、河南、湖北、河北、山西等省份的城市,且该类型集聚态势明显增强,而东北地区的低一低集聚区消失,高一高集聚区由东南沿海地区逐渐向西迁移且数量减少,且低一高集聚区在东南地区呈现组团发展趋势。2010—2015年,低一低集聚区仍出现在东、中部地区,但集聚范围收缩,高一高集聚区主要分布在陕西与内蒙古的部分城市,包括商洛、汉中、乌兰察布、呼和浩特等城市,低一高与高一低集聚区数量相对较少且呈分散分布。2019年,低一低集聚区主要集中于东北地区的辽宁、吉林、黑龙江以及山西的部分城市,高一高集聚区不再呈现组团态势且数量较少,低一高与高一低集聚区数量相对较少。随着时间推移,新型基础设施建设与

城市绿色发展协调度集聚特征越发减弱,说明新型基础设施建设与城市绿色发展协调度在区域上趋向均衡发展。这在于以5G基建、大数据中心、工业互联网、云计算等新一代信息基础设施的应用,推动新一代信息技术与实体经济融合发展,在推进产业链数字化转型的同时,有效压缩资源要素等流动的时空限制,真正实现跨区域资源要素的有效整合,助推区域协调发展。可见,以“技术创新”为底色的新型基础设施建设,将是改变经济活动空间集聚格局的重要力量。

#### 4 新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调的影响因素分析

新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的时空格局演变是由地区经济发展、产业结构、环境规制、科学技术、对外开放程度以及城镇化水平等多种因素共同作用的结果。经济发展水平的不断提升,在倒逼城市绿色发展模式转变的同时,也能

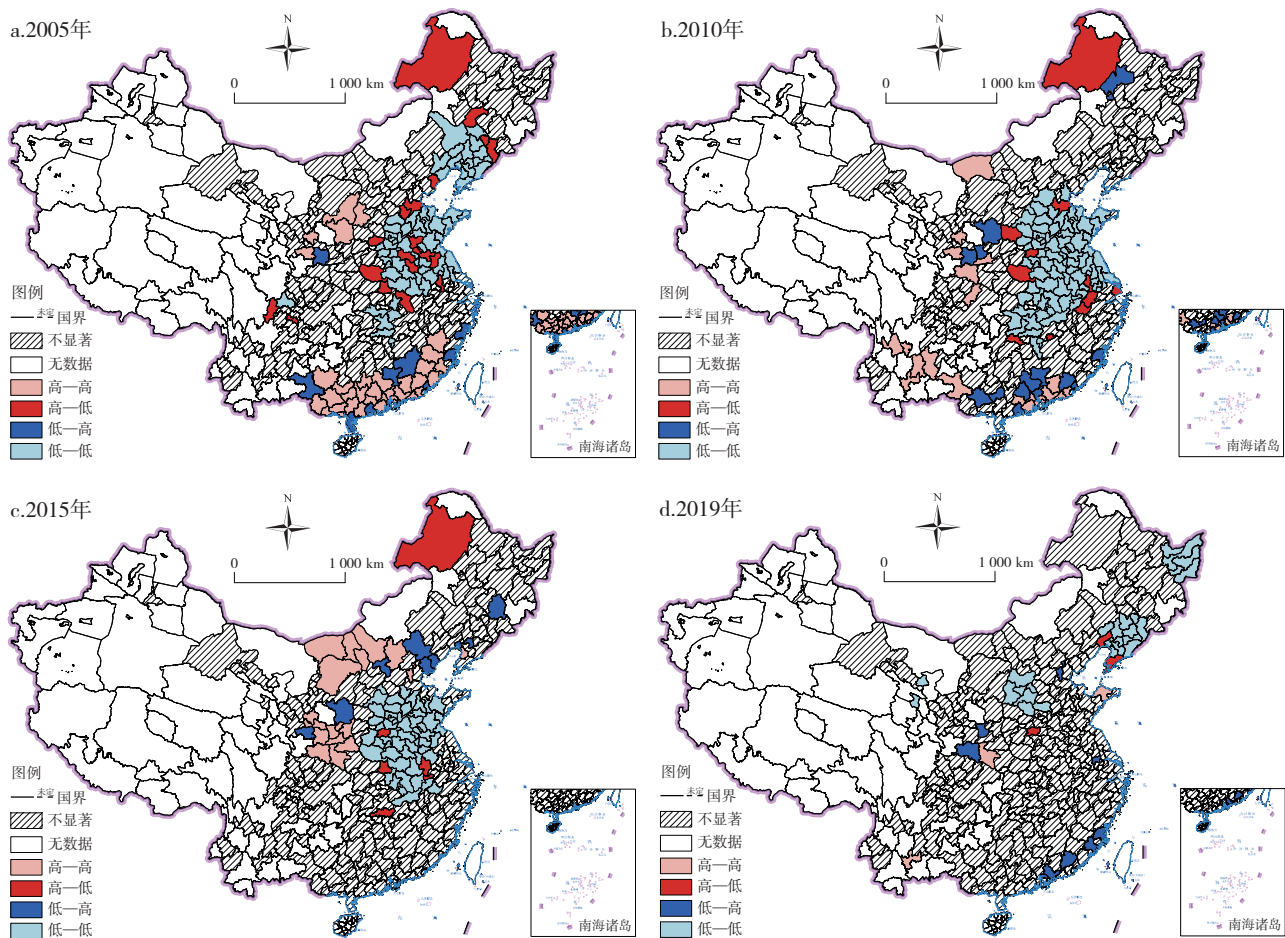


图4 新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的LISA集聚图

Fig.4 LISA aggregation map of the coordination degree between new infrastructure construction and urban green development

够为新型基础设施建设提供物质基础。产业结构调整升级,第三产业等配套服务业的不断完善,推动经济绿色低碳循环发展,也为新型基础设施建设提供软件支撑。在经济社会发展绿色转型的背景下,环境规制干预被用于限制和管控相关经济主体的经济行为,增加经济主体的成本,迫使其技术创新、提升能源资源使用效率等。以数字、网络、信息、智能制造等为代表的新一轮科学技术的应用,不仅可以革新传统产业,提升能源资源利用效率与末端治理效率,走集约高效经济发展道路,也能够为新型基础设施建设提供支持。城市对外开放程度直接影响产业参与经济全球化的深度,产业能够通过外商直接投资参与经济全球化,吸收先进科学技术与管理经验,获取知识溢出与创新等助推产业发展,但外资进入有可能产生挤出效应,影响城市产业发展,有碍于新型基础设施建设与城市绿色发展。城镇化是现代化的必由之路,随着人口和经济活动向城镇集中,带来聚集效应与规模效益,为城市发展与新型基础设施建设带来新的增长活力,但随着城镇化水平的提高,城镇化产生的环境污染、生态破坏等负面效应不可避免。在参考前人研究成果的基础上<sup>[16,31]</sup>,本文选取经济发展、产业结构、环境规制、科学技术、对外开放程度、城镇化水平等分析影响新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调发展的作用因素。各指标选取如下:①经济发展(*pgdp*):选取人均GDP。②产业结构(*str*):第三产业增加值与第二产业增加值之比。③环境规制(*enr*):地区每年政府工作报告中“环保”词频占比。④科学技术(*tec*):选取科技支出与教育支出之和占GDP比例。⑤对外开放度(*fdi*):实际使用外资金额占GDP比例。⑥城镇化水平(*urd*):地区常住人口城镇化率。

表5给出了Tobit模型的估计结果。从影响因素作用强度来看,全国、东部与中部地区的驱动因素的作用强度表现为经济发展>城镇化水平>产业

结构>环境规制>对外开放度>科学技术,而西部地区表现为城镇化水平>经济发展>环境规制>产业结构>对外开放度>科学技术。由此可见,地区经济发展水平与城镇化水平是新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调的主要驱动因素。随着经济发展水平的不断提高,人们对生活品质与生态环境会产生更高的需求,从而倒逼城市绿色发展与新型基础设施建设的深入,并能为二者的协调发展提供更加坚实的物质基础。由于经济发展水平呈现东、中、西递减的空间格局,所以相较于西部地区城市,东、中部地区城市经济发展因素对新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调产生的影响更为明显。随着城镇化进程的加快推进,人口的大量集聚带来生活服务需求扩张与知识技术溢出效应,为传统产业转型升级和新兴产业发展带来新动能。与东、中部地区城市相比,西部在技术创新、产业结构等方面相对薄弱与滞后,因而城镇化水平的提升,给其新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调带来的边际效应更高。

从影响因素的作用效果来看,经济发展均在1%显著性水平下通过检验,从区域异质性来看,说明提升区域经济发展水平能够显著促进新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调发展程度。产业结构同样在1%水平通过显著性检验,表明产业结构的“清洁化”“轻型化”发展,以及第三产业等相关配套服务业不断完善,能够有效协同新型基础设施建设与城市绿色发展。环境规制在全国与西部地区均通过1%显著性检验,在东部与中部地区通过5%水平显著性检验,环境规制倒逼企业技术创新,能够促进二者协调发展。科学技术仅在全国及东部地区分别在5%、1%水平通过检验,说明中、西部地区创新驱动效应有待进一步提升。对外开放度估计系数在1%水平显著为负,一定程度上说明外资进入可能存在挤出效应,以及依靠外资进入带来知识技术溢出的不可持续,有碍于城市自身产业

表5 Tobit模型估计结果  
Tab.5 Tobit model estimation results

变量	全国	东部	中部	西部
<i>lnpgdp</i>	0.082***(27.17)	0.090***(15.15)	0.082***(16.26)	0.066***(13.08)
<i>str</i>	0.041***(15.52)	0.054***(9.36)	0.040***(10.58)	0.022***(4.81)
<i>enr</i>	0.027***(4.00)	0.023***(2.02)	0.021***(2.01)	0.038***(3.19)
<i>tec</i>	0.003***(2.40)	0.012***(4.28)	0.003(1.23)	0.002(0.87)
<i>fdi</i>	-0.004***(-4.98)	-0.007***(-5.85)	-0.006***(-4.30)	-0.009***(-3.64)
<i>urd</i>	0.079***(8.43)	0.064***(4.40)	0.073***(4.10)	0.123***(7.20)
<i>cons</i>	-0.881***(-30.28)	-0.935***(-15.48)	-0.869***(-17.46)	-0.821***(-17.76)

注:表中括号内为Z统计量,\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%显著性水平。

转型升级,不利于城市绿色发展与新型基础设施建设的深入推进。城镇化水平均在1%水平显著为正,说明城市人口的密度效益、规模效益是现代城市发展的主要动力,能够为新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调注入新的动力。

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

本文在构建新型基础设施建设与城市绿色发展评价指标,以及分析二者耦合机理基础上,综合采用熵权法、耦合协调模型对中国大陆280个地级以上城市新型基础设施建设与绿色发展耦合协调度进行测度,运用核密度曲线、空间统计分析与Tobit模型对其协调度的时空演变特征及影响因素进行分析。得出主要结论如下:

①2005—2019年,新型基础设施建设与城市绿色发展水平各自呈上升、下降再上升的变化态势,新型基础设施建设水平由2005年的0.010提升至2019年的0.076,城市绿色发展水平由2005年的0.341下降至2015年的0.243再上升至2019年的0.425。在空间格局上,新型基础设施建设与城市绿色发展水平分别呈现“南北低、西低东高”“东西南北高、中部塌陷”的空间结构特征。

②2005—2019年,新型基础设施建设与城市绿色发展协调度水平不断攀升,且呈现多极化转向单极化发展态势。从空间格局来看,新型基础设施建设与城市绿色发展协调度空间格局演进明显,低水平协调区消失,逐渐发展成为高、较高、中等水平协调区,较低水平协调区呈东北方向分布,逐渐形成东北方向“陷落”空间结构特征。

③从空间关联性来看,新型基础设施建设与城市绿色发展协调度在空间格局上具有显著的空间正相关性,而随着时间推移,新型基础设施建设与城市绿色发展协调度的高一低集聚区与低—低集聚区数量均减少,即二者协调度的局部集聚特征越发减弱,在空间上趋向均衡发展态势。

④基于区位优势与政策优势,经济发展水平、产业结构、环境规制、科学技术、对外开放度以及城镇化水平不同程度影响着东、中、西部地区新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调发展,其中,对外开放度对二者协调度存在显著的负向影响,应对外商投资进入进行甄别,既要符合经济发展需求,也不能损害生态环境;科学技术对中、西部地区影响不显著,说明中、西部地区创新驱动效应有待

进一步提升。

### 5.2 讨论

在构建现代化基础设施体系与推进美丽中国建设的新时代背景下,强化新型基础设施建设与城市绿色发展协调发展的学理认知和实证研究,是对于构建现代化基础设施体系与推进绿色发展相结合的新的认识。本研究通过对新型基础设施建设与城市绿色发展协调度时空演变特征的探析,发现二者协调度虽不断提升,但整体水平较低,且空间异质性显著。结合发展实际,一是要做好生态环境保护与新型基础设施建设融合发展,推动5G基建、大数据中心、工业互联网等高能耗领域节能减排、绿色发展。二是要基于地区资源禀赋以及区位条件,合理布局新型基础设施建设,促进东、中、西部协同联动,在科技创新、产业发展、城市治理、社会服务等方面打造城市发展新生态,提升城市绿色发展水平,推动区域协调发展。三是中、西部地区应借鉴东部地区的发展经验,因地制宜与因时制宜地采取多样化发展方式,在环境规制、产业结构提升、创新驱动等方面制定适宜政策措施,进一步缩小新型基础设施建设与城市绿色发展协调发展的区域差异。四是从城镇化水平对二者协调度的作用强度来看,针对技术创新、产业结构等相对薄弱地区,应进一步提高城镇化水平,发挥人口集聚带来的知识技术溢出效应与生产生活服务需求扩张,为促进新型基础设施建设与城市绿色发展的协调发展添加动力。本文学术贡献在于探讨了新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调发展的时空异质、空间关联与影响因素,从区域系统性、综合性的视角,更加全面、科学地认识新型基础设施建设与城市绿色发展的演化规律和制约因素。同时,基于地理学空间视角与物理学耦合协调模型的分析,为新型基础设施建设与城市绿色发展的研究提供了新的范式与视角拓展。

### 参考文献:

- [1] 李晓华. 面向智慧社会的“新基建”及其政策取向[J]. 改革, 2020(5): 34-48.
- [2] 尚文思. 新基建对劳动生产率的影响研究——基于生产性服务业的视角[J]. 南开经济研究, 2020(6): 181-200.
- [3] 黄群慧. 以新型基础设施建设促进经济高质量发展[J]. 中国党政干部论坛, 2020(11): 28-31.
- [4] 胡鞍钢, 周绍杰. 绿色发展: 功能界定、机制分析与发展战略[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(1): 14-20.
- [5] 王海芹, 高世楫. 我国绿色发展萌芽、起步与政策演进: 若干阶段性特征观察[J]. 改革, 2016(3): 6-26.

- [6] Antal M. Green goals and full employment: Are they compatible?[J]. *Ecological Economics*, 2014, 107: 276 – 286.
- [7] 冉启英, 张晋宁, 杨小东. 高铁开通提升了城市绿色发展效率吗——基于双重差分模型的实证检验[J]. *贵州财经大学学报*, 2020(5): 100 – 110.
- [8] 汪克亮, 庞素勤, 张福琴. 高铁开通能提升城市绿色全要素生产率吗?[J]. *产业经济研究*, 2021(3): 112 – 127.
- [9] 杜建国, 王玥, 赵爱武. 智慧城市建设对城市绿色发展的影响及作用机制研究[J]. *软科学*, 2020, 34(9): 59 – 64.
- [10] 黄小勇, 查育新, 朱清贞. 互联网对中国绿色经济增长的影响——基于中国省域绿色竞争力的实证研究[J]. *当代财经*, 2020(7): 112 – 123.
- [11] 唐新华. 新型基础设施在国家治理现代化建设中的功能研究[J]. *中国科学院院刊*, 2021, 36(1): 79 – 85.
- [12] 鲁达非, 江曼琦. 互联网时代的城市空间演化与空间治理策略[J]. *南开学报: 哲学社会科学版*, 2020(2): 92 – 100.
- [13] 姜卫民, 范金, 张晓兰. 中国“新基建”: 投资乘数及其效应研究[J]. *南京社会科学*, 2020(4): 20 – 31.
- [14] 童昀, 刘海猛, 马勇, 等. 中国旅游经济对城市绿色发展的影响及空间溢出效应[J]. *地理学报*, 2021, 76(10): 2504 – 2521.
- [15] 刘杨, 杨建梁, 梁媛. 中国城市群绿色发展效率评价及均衡特征[J]. *经济地理*, 2019, 39(2): 110 – 117.
- [16] 周亮, 车磊, 周成虎. 中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素[J]. *地理学报*, 2019, 74(10): 2027 – 2044.
- [17] Zhu B, Zhang M, Zhou Y, et al. Exploring the effect of industrial structure adjustment on interprovincial green development efficiency in China: A novel integrated approach [J]. *Energy Policy*, 2019, 134: 110946.
- [18] Ma L, Long H, Chen K, et al. Green growth efficiency of Chinese cities and its spatio-temporal pattern [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, 146: 441 – 451.
- [19] Liao B, Li L. How can urban agglomeration market integration promote urban green development: evidence from China's Yangtze River Economic Belt [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(7): 10649 – 10664.
- [20] Sun L Y, Miao C L, Yang L. Ecological-economic efficiency evaluation of green technology innovation in strategic emerging industries based on entropy weighted TOPSIS method [J]. *Ecological Indicators*, 2017, 73: 554 – 558.
- [21] 黄跃, 李琳. 中国城市群绿色发展水平综合测度与时空演化 [J]. *地理研究*, 2017, 36(7): 1309 – 1322.
- [22] 季永月, 张丽君, 秦耀辰, 等. 中国地级及以上城市“四化”水平对绿色发展的空间计量分析 [J]. *经济地理*, 2020, 40(4): 184 – 194.
- [23] 郭付友, 侯爱玲, 佟连军, 等. 振兴以来东北限制开发区绿色发展水平时空分异与影响因素 [J]. *经济地理*, 2018, 38(8): 58 – 66.
- [24] 丛晓男. 耦合度模型的形式、性质及在地理学中的若干误区 [J]. *经济地理*, 2019, 39(4): 18 – 25.
- [25] 田时中, 丁雨洁. 长三角城市群绿色化测量及影响因素分析——基于26城市面板数据熵值—Tobit模型实证 [J]. *经济地理*, 2019, 39(9): 94 – 103.
- [26] 伍先福, 钟鹏, 黄骁. “新基建”提升了战略性新兴产业的技术效率吗 [J]. *财经科学*, 2020(11): 65 – 80.
- [27] 程莉, 孔芳霞. 长江上游地区农村产业融合发展水平测度及影响因素 [J]. *统计与信息论坛*, 2020, 35(1): 101 – 111.
- [28] Loiseau E, Saikku L, Antikainen R, et al. Green economy and related concepts: An overview [J]. *Journal of cleaner production*, 2016, 139: 361 – 371.
- [29] 郭付友, 佟连军, 仇方道, 等. 黄河流域生态经济走廊绿色发展时空分异特征与影响因素识别 [J]. *地理学报*, 2021, 76(3): 726 – 739.
- [30] 郭付友, 高思齐, 佟连军, 等. 黄河流域绿色发展效率的时空演变特征与影响因素 [J]. *地理研究*, 2022, 41(1): 167 – 180.
- [31] 黄磊, 吴传清. 长江经济带城市工业绿色发展效率及其空间驱动机制研究 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(8): 40 – 49.
- [32] 韩永楠, 葛鹏飞, 周伯乐. 中国市域技术创新与绿色发展耦合协调演变分异 [J]. *经济地理*, 2021, 41(6): 12 – 19.