

新型基础设施资本如何影响能源消费

李昱霖

重庆大学公共管理学院, 重庆

收稿日期: 2024年12月11日; 录用日期: 2025年2月12日; 发布日期: 2025年2月21日

摘要

新基建自提出以来, 即被视为未来创新与发展的核心理念。本研究创新性地测算了2002年至2020年中国在新基建领域的投资规模, 并从信息与通信技术及研发投资的视角, 深入探讨了新基建对能源利用及其空间溢出效应的影响。实证结果表明, 新基建投资对能源消耗、能源强度及能源结构均产生了积极的改善作用。实证结果还揭示, 新基建发展对周边地区具有空间溢出效应, 且对发达地区的能源消耗影响最为突出。异质性分析表明, 新基建在互联网较为发达的地区以及较为发达的地区影响最显著。本研究结果为激发新基建影响力、推动低碳经济转型提供了重要的政策指引。

关键词

新基建, 能源, 能源消耗, 投资, 低碳经济

How New Infrastructure Capital Affects Energy Consumption

Yulin Li

School of Public Administration, Chongqing University, Chongqing

Received: Nov. 11th, 2024; accepted: Feb. 12th, 2025; published: Feb. 21st, 2025

Abstract

Since its introduction, new infrastructure has been regarded as a core concept for future innovation and development. This study innovatively measures the scale of China's investments in new infrastructure from 2002 to 2020 and explores the impact of such investments on energy utilization and their spatial spillover effects from the perspectives of information and communication technology (ICT) and R&D investments. The empirical results demonstrate that new infrastructure investment significantly improves energy consumption, energy intensity, and energy structure. The findings further reveal that new infrastructure development has spatial spillover effects on neighboring

regions, with its impact on energy consumption being most pronounced in developed areas. Heterogeneity analysis indicates that new infrastructure exerts the greatest influence in regions with advanced internet penetration and higher levels of development. The results of this study provide critical policy guidance for leveraging new infrastructure to drive low-carbon economic transformation.

Keywords

New Infrastructure, Energy, Energy Consumption, Investment, Low-Carbon Economy

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

2018年末,中国政府提出了新基建的概念,将5G、人工智能、工业互联网及物联网界定为“新型基础设施建设”的范畴。2020年4月,政府进一步明确新基建的定义,包括信息基础设施、融合基础设施和创新基础设施。新基建推动了各领域的深度融合,形成了多维度交织的资源和信息网络,进一步优化了资源配置和产业结构[1]。

能源作为推动经济和社会发展的基石,长期以来一直依赖化石燃料。然而,这一模式面临着资源枯竭与环境污染的双重挑战。联合国气候服务状况报告指出,能源行业约占全球温室气体排放的75% [2]。因此,推动太阳能、风能等清洁能源的发展,并提升能源效率,是实现可持续发展的重要途径。中国政府为减排碳达峰、碳中和在内的积极措施,并已提出加速清洁能源使用的目标。近年来,中国能源消耗增长缓慢,预计能源消耗总量将在未来十年继续增长,因此,优化能源结构、减少化石燃料的消耗成为紧迫任务。

已有研究表明,资本投入对能源基础设施的建设和能源效率提升具有重要作用,尤其是信息通信技术(ICT)资本与研发资本对能源消耗的影响[3]。这些研究深入探讨了资本投入在能源领域的应用及其时空效应,表明新基建能够促进技术转移和资源优化[1]。

目前,关于新基建对能源结构的影响的研究仍显不足,尤其是在能源消耗领域。大部分现有研究集中于产业结构和政策领域,对能源消耗的具体影响缺乏深入分析。鉴于此,本文将在前人关于信息通信技术与研发资本研究的基础上,探讨新基建如何通过空间溢出效应影响能源消耗,并使用空间建模方法分析这种影响。

本文的贡献在于:1) 将信息通信技术资本和研发资本与中国新基建投资进行整合,通过新基建投资核算,探讨数字化投资和研发投资如何影响能源消耗;2) 通过空间建模方法,探讨基础设施投资与能源消耗的空间异质性,评估不同地区的差异化影响;3) 通过回归分析,进一步检验新基建对能源行业的影响,并从技术进步、产业结构扭曲及人力资本等角度分析其作用机制(图1)。

本文的结构安排如下:第二章为文献综述与机制分析,第三章进行资本化处理以确定新基建投资,第四章设定实证模型并进行分析,第五章讨论实证结果,最后总结全文。

2. 文献综述与机制分析

2.1. 文献综述

现有研究揭示了资本投入对能源利用的深远影响。信息通信技术(ICT)资本与研发资本作为新基建的

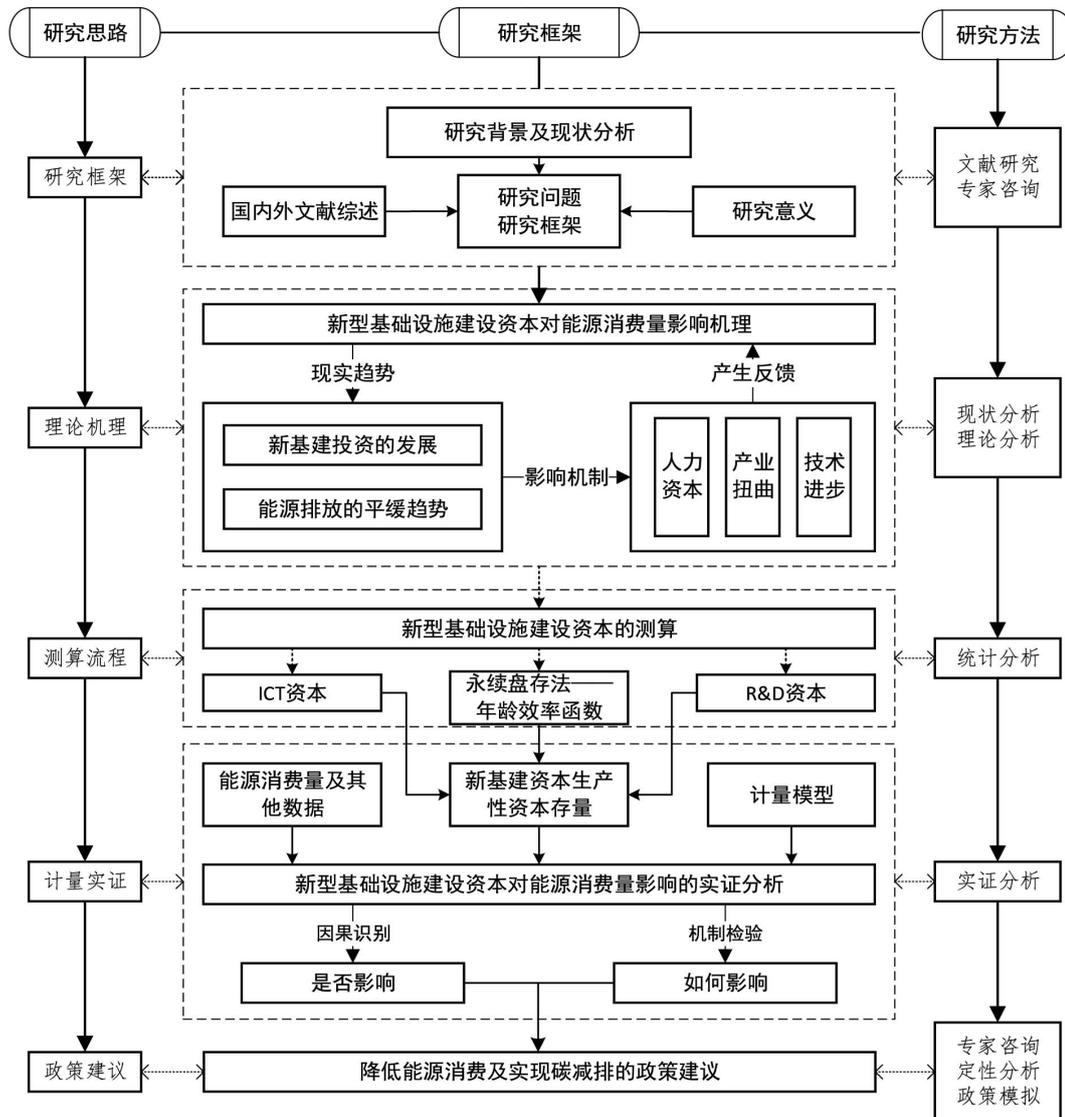


Figure 1. Essay structure
图 1. 论文结构

核心组成部分，长期以来被视为提升能源利用效率的重要因素。Adha 等发现，信息通信技术的投资促进了可再生能源发展[4]，而 Salahuddin 与 Alam 则指出其在降低电力需求方面的潜力[5]。Schulte 等认为，信息通信技术资本的快速增长通过技术进步降低了能源强度[6]。

信息通信技术投资不仅有助于提升生产效率，还能改善能源效率。例如，智能电网技术的应用，通过更高效的电力分配和需求响应，显著降低了传统能源的消耗[7]。此外，5G 技术的普及与物联网的整合，也为能源管理提供了更加精准的实时监控和调度能力，进一步推动了清洁能源的高效利用[1]。

研发资本的作用则体现在其对可再生能源开发的促进上。Churchill 等的研究表明，研发资本投资能显著降低化石能源消耗，并通过技术创新推动能源结构优化[8]。具体而言，新能源技术如太阳能、风能的研究为减少对化石燃料的依赖提供了技术保障[9]。此外，研发投资还带动了绿色技术的普及，并促进了工业节能技术的应用，如高效光伏板和储能系统。

与传统基础设施相比，新基建的影响在于其强调数字化和科技创新。这些研究显示，信息通信技术

在短期内可能增加能源消耗，但长期来看，技术进步能够带来更高的能源效率。技术创新通过优化生产过程和加速低碳技术的普及，减少了能源的总体需求[10]。例如，智能制造的推广在减少生产过程中的能耗和材料浪费方面展现了巨大的潜力，尤其在工业和制造业领域[5]。

此外，关于区域差异和空间溢出效应的研究也表明，新基建投资对发达地区和欠发达地区的影响有所不同。Lin 和 Chen 指出，发达地区因技术基础较好而收益更大，而欠发达地区可能通过空间溢出效应间接受益[11]。例如，发达地区的信息通信技术投资不仅提高了当地的能源效率，也通过技术转移和市场联动推动了周边地区的能源利用效率[12]。因此，空间效应和区域协同发展在推动能源结构优化方面起到了关键作用。

近年来，关于新基建的系统研究逐渐增加，但仍缺乏对多元资本的整合分析，以及其在能源利用效率提升中的整体贡献评估。很多研究侧重于单一技术或资本投入对能源消耗的影响，但缺少从信息通信技术资本、研发资本与融合资本等多维度综合分析的视角[8]。本研究将填补这一领域的空白，通过跨领域的整合，探讨新基建投资如何通过资本整合与技术创新实现能源消耗的优化。

2.2. 机制分析

2.2.1. 技术创新与能源消耗

新基建通过促进技术创新提高全要素生产率，从而降低单位产出的能源消耗[6]。技术进步不仅提高了生产效率，还加速了新能源技术的研发与应用，优化了能源结构。例如，智能电网和智能制造技术的广泛应用显著降低了高耗能产业的能耗强度[4]。这些技术在能源管理中发挥了重要作用，通过减少浪费和提升效率，推动了节能减排目标的实现。

研究还表明，技术创新对传统产业的改造也起到了重要作用。例如，工业 4.0 背景下，智能制造技术的普及显著优化了制造业的资源配置，减少了不必要的能源浪费[5]。此外，分布式能源管理系统和云计算技术的应用也为节能增效提供了新路径。这些技术不仅提高了生产效率，还为可再生能源的整合提供了更多可能。

技术创新的作用不仅体现在节能方面，还包括资源再利用的提升。例如，在一些国家，基于人工智能的工业控制系统显著减少了资源浪费。这些技术不仅提升了生产效率，还为可再生能源的整合提供了更多可能。技术进步不仅推动了传统产业的绿色转型，还促进了新兴产业的快速发展。

2.2.2. 产业结构优化与能源消耗

新基建资本投入有效缓解产业结构扭曲，推动高耗能产业向高效能产业转型，优化能源消耗结构[11]。此外，通过增强供应链协同性，新基建能够实现产业间资源的高效流动，进一步减少能源浪费。例如，数字技术在物流行业中的应用优化了运输路线和能耗分配[8]。这种优化不仅提升了能源使用效率，也推动了能源消费的整体绿色转型。

产业结构的转型不仅体现在高耗能行业的改造，还包括第三产业的扩展。研究表明，服务业的扩展对整体能源强度的降低贡献显著。具体而言，信息服务业和现代金融业等高附加值行业的发展，不仅对传统制造业产生了挤出效应，也通过其相对较低的能源需求促进了整体能源结构优化[4]。

进一步研究显示，数字技术和信息服务的推广，使得区域性能源消费差异逐渐缩小。特别是在偏远地区，产业优化直接推动了绿色能源的应用。这一变化不仅减少了区域间的能源不平衡，也提高了整体能源利用效率。数字经济和新型基础设施的发展使得能源需求更加分散，降低了集中的能源消耗水平。

2.2.3. 人力资本积累与能源消费

新基建通过教育工具的革新和信息获取渠道的拓宽，增强了知识溢出效应，加速了人力资本积累[6]。

高素质劳动者的增加进一步推动了技术创新与经济增长，从而间接降低了能源强度。例如，信息技术的普及提升了劳动者的生产率，推动了经济的绿色化发展[8]。

教育资源的数字化对人力资本积累的推动尤为显著。线上教育、虚拟实验室以及数字化职业技能培训的普及，使得更多劳动者能够适应新兴产业的技术需求。此外，人力资本的区域不均衡也通过新基建的协同效应得到缓解，特别是在中西部地区[11]。人力资本积累不仅有助于区域经济发展，还对技术扩散和创新能力的提升起到关键作用。例如，在一些新兴经济体中，高素质劳动力直接推动了能源消耗结构的优化，从化石能源转向清洁能源。人力资本的积累有助于提高生产效率并减少能源浪费，进而促进经济的绿色发展。

2.2.4. 空间溢出效应

空间溢出效应是新基建投资的重要特征之一。研究表明，新基建投资不仅对投资地区产生直接影响，还通过技术扩散、资源流动等机制对周边地区产生显著的间接效应。例如，发达地区的信息通信技术资本积累为欠发达地区提供了技术支持和合作机会，从而提升了后者的能源利用效率[5]。

此外，空间溢出效应还体现在产业链的协同性上。高技术产业与传统产业的结合，不仅优化了整体能源资源配置，还通过区域间的技术共享和市场联动，促进了欠发达地区的经济与技术发展[4]。

具体而言，一些研究表明，空间溢出效应的强弱取决于地区之间的交通与信息连接程度。在中国东部地区，技术扩散效果显著，而中西部地区则更多依赖政策扶持与基础设施投资。区域协同合作有助于形成更为稳定的能源优化效果。

3. 新基建投资资本的测算

3.1. 测算对象和必要性

3.1.1. 测算对象

本研究围绕新型基础设施(以下简称“新基建”)投资中所蕴含的核心资本投入展开，重点关注以下三类资产：ICT 硬件资本、ICT 软件资本与研发(R&D)资本。在此基础上进一步区分基础性投入与融合性投入，旨在全面揭示新基建资本在不同用途和阶段的特征及分布，为后续实证分析奠定高质量的数据基础。

ICT 硬件资本指通信基站、数据中心、服务器及相关物理设备等。

ICT 软件资本涵盖操作系统、互联网服务、云计算平台、应用软件等无形资产。

研发资本包含基础研究、应用研究与试验发展，用于反映创新研发活动的投入及其长周期效应。

通过区分软硬件，以及细化研发资本在不同类型研究中的差异性，本研究能够更精细地刻画新基建资金的去向及在各产业环节的投入结构。此分类不仅适用于衡量新基建的多元属性，也利于后续探讨新基建投资与能源、环境及经济增长的关系。

3.1.2. 测算必要性与研究价值

测算必要性和研究价值可以分为三类，分别在宏观政策与决策支持，能源经济分析的数据保障以及拓展学术研究与国际比较的空间上对当前学术发展有帮助

第一，在国家大力发展数字经济、加速“双碳”转型的政策指引下，如何量化新基建资本的实际投入规模及结构，对中央及地方政府制定产业扶持、区域协同和绿色低碳相关政策具有直接参考价值。若能准确测算 ICT 硬件、ICT 软件与研发资本的存量，就能更好评估新基建规划的实施进度与成效。

第二，新基建有可能在能源生产、传输和消费等环节发挥深远影响：ICT 硬件和软件赋能“智慧能源”和“智能制造”，研发投入则为未来能源技术和低碳创新奠定基础。只有准确掌握各类新基建资产的存量，才能定量研究新基建对能源消费、碳排放以及经济增长的影响机制。

第三,国际上针对 ICT 资本或研发资本的测算研究相对成熟,但专门面向新基建多维资产(包括研发)的系统研究仍相对匮乏。通过在测算过程中结合国际通行规范与我国本土数据,可为后续学术界就新基建与经济转型、产业升级以及国际对比研究提供借鉴。

3.2. 测算数据来源及处理

3.2.1. 数据来源

官方统计资料:国家统计局及各省(市、自治区)统计年鉴、《中国能源统计年鉴》、投入产出表等提供地区生产总值、固定资产投资、价格指数及 ICT 产业指标等。地方统计年鉴和行业报告:用于补足具体的 ICT 硬件、软件投资信息及研发投入规模。

相关文献与国际经验:参考 Young (2003)、Schreyer *et al.* (2009)、张军等(2004)等的设定[13]-[15],结合 Cui 等国内研究成果,确保基期资本和折旧率等参数具备学术严谨性[16]。

3.2.2. 相关指标处理方法

第一,对于 2002~2021 年间部分缺失的 ICT 或研发投资数据,采用线性插值法进行插补;若某年数据极度缺失,则通过专家判断或相邻省份平均增速进行矫正。

第二,异常值识别与校正。利用历史趋势及行业背景,对极端值进行筛查;若某年份投资额激增或大幅下滑,与现实市场不符,则与官方或第三方报告进行比对与调整。

第三,价格指数平减与不变价数据获取。采用固定资产投资价格指数对名义投资进行平减,过滤通胀或价格波动影响,获取更具可比性的实质投资序列。

第四,基期资本存量的设定。选择 2002 年为基期,运用下列公式:

$$K_{2002} = I_0 / (\delta + g) \quad (1)$$

其中 I_0 为当年实际投资额, δ 为折旧率, g 为投资增长率。

第五,投资序列分期与递推。为更精准刻画关键时段的资本积累情况,选取 2002、2007、2012、2017 等节点分期核算。对 2018~2021 年数据缺口或不完整年份,借助年度固定资产投资统计与新基建专项报告加以修正。

第六,资本分类参数与使用年限。ICT 硬件:8 年寿命, $b=0.6$; ICT 软件:5 年寿命, $b=0.5$; 研发资本:整体 $b=0.6$, 基础研究 20 年、应用研究 15 年、试验发展 10 年;结合国内外文献经验,将折旧率与投资增长率之和设定为 10%,在此基础上进行敏感性检验。

3.3. 测算过程

综合前述数据与方法后,本研究对每类资产的投资序列进行价格平减和分年限校正,最终得到三类资本(ICT 硬件、ICT 软件、研发)的生产性资本存量。

本文以 2002 年为基期,确定信息通信技术资本、融合资本及研发资本的退役系数与年龄 - 价格函数。与其他年龄效率函数(如固定年龄效率、几何递减、线性递减及两步年龄效率)不同,本文采用美国劳工统计局(BLS)的双曲线递减模型年龄效率函数,其表达式如下:

$$d_t = (T - t) / (T - bt) \quad (2)$$

其中, $b(\leq 1)$ 代表斜率参数,用于表示新基建资本品基于其使用寿命的相对效率损失。参考经济合作与发展组织(OECD)关于斜率参数制定指南[15]及 Cui 等人的初步研究[17],并结合中国信息经济研究发现,我们确定信息通信技术硬件资本与软件资本的值分别为 0.6 与 0.5。硬件资本的使用寿命为 8 年,软件资本为 5 年。研发资本的值假定为 0.6,其中基础研究、应用研究及试验发展使用寿命分别为 20 年、15 年及

10年。

本文摒弃传统路径，采用永续盘存法(PIM)来测算新基建的全套资本存量及其所属资产类型。首先，对新基建的总资本存量进行测算，记为 K ：

$$K_t = K_{(t-1)} + I_t - R_t = \sum_{\tau=0}^T S_{\tau} I_{(t-\tau)} \quad (3)$$

相较于同步退役模型、线性退役模型及扩展线性退役模型，钟形退役模型被证明与新基建资本品的实际退役过程更为契合，并且是国际会计界的优选。本文最终选定钟形退役模型中的对数正态频率分布模型，其表达式如下：

$$f_{\tau} = 1 / (\sqrt{2\pi} \times \sigma) \times 1/\tau \times \exp(-(\ln \tau - \mu)^2 / 2\sigma^2) \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\ln(1 + 1/(m/s)^2)}, \quad \mu = \ln m - 0.5\sigma^2 \quad (5)$$

其中， f_{τ} 表示新基建资本品服役 τ 年后的退出比率， σ 与 μ 分别为对数正态频率分布的标准差与均值， m 与 s 则分别为正态分布的标准差与均值。普遍情况下， s 可设定在 $m/2$ 至 $m/4$ 之间，本文取 $s = m/4$ 。由此可以推导出相应的生存函数。

随后，我们利用新基建资本品的平均使用寿命效率函数 φ_{τ} ，对全社会的新增固定资产投资进行汇总：

$$KP = \sum_{\tau=1}^{T-1} d_{\tau} \times S_{\tau} \times I_{(t-\tau)} = \sum_{\tau=1}^{T-1} \varphi_{\tau} \times I_{(t-\tau)} \quad (6)$$

“年龄效率”函数 d_{τ} 已在公式 3.2 中给出。为获取新基建的生产性资本存量 KN ，需确保不同使用寿命的资本品在使用价格上保持一致，即通过该类资本的平均使用寿命价格函数 ψ_{τ} ，对全社会的新增固定资产投资进行汇总。

最终，利用先前计算的永续盘存法与时间效率模型，我们确定了各中国省份在第 t 年的资本存量投资及其各自的退役模型。如此，我们整合了多种资本类型以计算总资本存量，包括信息通信技术资本、融合资本与研发资本。具体构成见图 2。

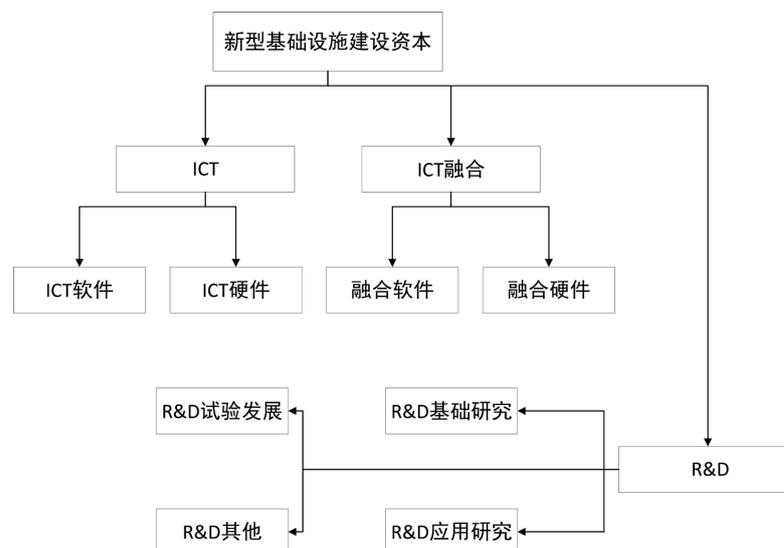


Figure 2. Capital composition
图 2. 资本构成

3.4. 测算结果

通过上述步骤, 本文最终得到 2002~2020 年间新基建三类核心资本的测算序列, 并测算出了相关的结果。新基建资本存量测算涵盖信息通信技术资本、信息融合资本及研发资本三个主要部分。以下为测算结果和趋势。

数据显示, 新基建资本存量总量从 2002 年的 38251.5 亿元增长至 2020 年的 320626.1 亿元, 年均增长率约为 15.4%。构成资本存量的趋势中, 信息通信技术(ICT)资本从 2002 年的 11157.4 亿元增长到 2020 年的 84783.9 亿元, 占比从 29%下降到 26%, 研发(R&D)资本从 2002 年的 27094.1 亿元增长到 2020 年的 235842.3 亿元, 占比显著提升, 表明研发在新基建中的重要性愈发突出。

图 3 直观展示了新基建资本存量及其构成趋势。

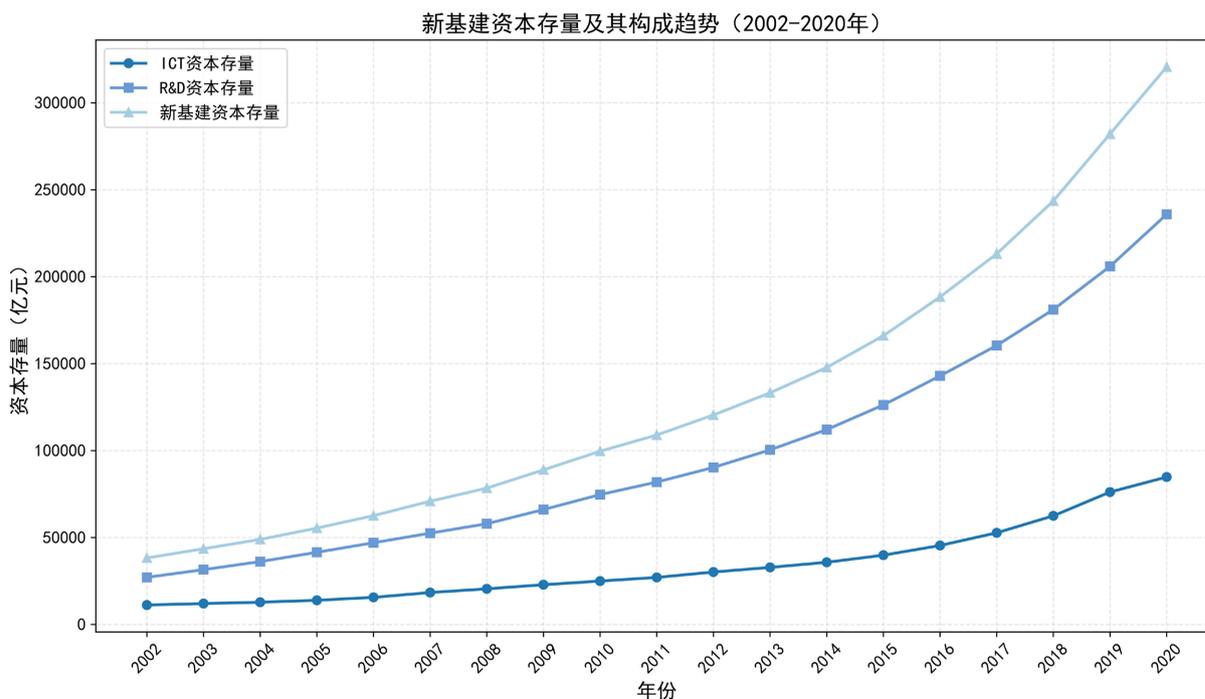


Figure 3. Capital stock of new infrastructure and its composition trend (2002~2020)

图 3. 新基建资本存量及其构成趋势(2002~2020 年)

4. 数据与模型

4.1. 数据来源与变量

被解释变量: 能源消耗和能源强度。本文考虑了三个对能源消耗具有较强解释力的变量: 能源消耗、能源强度与能源结构[3]。它们分别代表全社会的能源消耗量、单位国内生产总值(GDP)所消耗的能源量以及化石能源使用结构(煤炭消费量/总消费量)。基于既往研究与变量的解释力度, 本文选取能源消耗和能源强度来表征能源状况。其中, 能源强度为主要变量, 它将能源消耗与经济活动相关联, 反映了单位 GDP 所需的能源量[18] [19]。而能源消耗作为次要变量, 主要用于解释全社会的总消耗量。

本文所用的资本存量为生产性资本存量, 其良好地反映了投资于生产的部分[16]。此处的所有资本存量均以 2002 年为基期, 采用不变价格计算。

解释变量: 新基建的生产性资本存量。该部分已在第三部分中计算。

中介变量：1) 人力资本：关于人力资本的测度，普遍采用的方法有当地在校大学生数量与人口预期受教育年限。考虑到数据的可获得性，本文选择使用中国大陆各省份在校大学生数量来计算人力资本指数，具体而言，在校生数量越多，人力资本越高。2) 产业结构扭曲。鉴于技术创新对不同生产部门的差异化影响，生产结构的快速变化在所难免[20]。本文采用 Ando 和 Nassar 构建的模型来衡量第一、二、三产业间产业结构扭曲的程度，以表征产业间结构的变化[21]。其具体计算方法为 $d_i = L_i / \sum_k L_k - VA_i / \sum_k VA_k$ ， $d = \sqrt{\sum_i d_i^2}$ ，其中 VA_i 与 L_i 分别代表产业 i 的增加值产出与从业人员数量。 k 表示该地区所有产业的数量， d_i 代表产业 i 的结构扭曲度，而 d 则代表该地区的产业结构扭曲度[22]。3) 全要素生产率。在内生增长理论中，全要素生产率被定义为由创新带来的技术进步，包括产业创新、管理创新等[23] [24]。在本文中，全要素生产率用于衡量当期的资本投入与产出关系。本文以 2002 年为基期，设定全要素生产率值为 1，此后每年的全要素生产率为当期与上一期全要素生产率的乘积。

控制变量包括：1) 外商直接投资。外商直接投资具有减少非可再生能源消耗、增加可再生能源消耗的作用[25]。2) 燃料价格。国际上常以布伦特原油价格作为控制变量来衡量能源价格[3]，而在中国各省份间难以获取原油价格，故本文采用统计局发布的燃料价格指数替代。3) 人均国内生产总值。关于 GDP 对能源消耗的影响已有诸多研究，它也是一个非常常见的控制变量[26] [27]。4) 工业化水平。工业化水平能在一定程度上解释能源消耗，提高工业化水平会改变能源消耗状况[28]。5) 城市化率与城乡收入差距。发展中地区的城市化进程伴随着经济的蓬勃发展，会增加居民能源总消耗量[29]。

本文所用诸变量均源自《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》、2002 年、2007 年、2012 年及 2017 年投入产出表中的资本度量数据、中国年度统计与普查数据、部分 CSMAR 数据库数据、《中国价格统计年鉴》中的价格指数数据，部分缺失值通过线性插值法补全，人均国内生产总值数据已进行平减处理。本文中的个别非比例变量均经对数化处理。各具体数据的描述性统计如表 1 所示。

Table 1. Descriptive statistics
表 1. 描述性统计

变量	简称	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
能源强度	EI	570	1.13465	0.63524	0.37656	2.576299
能源消耗	ln_EC	570	9.205382	0.678269	7.750283	10.32777
新型基础设施	ln_NI	570	7.909865	1.050789	5.887813	9.67872
外商直接投资	ln_FDI	570	10.68659	1.451623	8.000014	13.23937
燃料价格	fuelprice	570	1.930313	0.488854	0.971	3.079151
数字化	DIG	570	0.642488	0.371962	0.106492	1.322257
人均国内生产总值	pGDP	570	10.25799	0.736926	8.900003	11.44282
工业化水平	industry	570	0.343245	0.078527	0.190854	0.465333
城市化	urbanization	570	0.525831	0.144007	0.2949	0.849
城乡差距	Urbanrural	570	2.759191	0.449232	2.161268	3.807903

4.2. 方法与模型

4.2.1. 基础模型

本研究采用面板固定效应模型作为基准回归模型，因该模型在经济计量学中应用广泛。此模型能有效处理由不可观测的个体异质性所导致的内生性问题，并可更深入地洞察个体的动态行为。此外，较大

的样本量有助于提高估计精度。具体模型设定如下：

$$e-consumption_{ij} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln NI_{it} + \alpha_t X_{ijt} + \mu_i + \theta_t + \epsilon_{it} \quad (7)$$

$$e-intensity_{ij} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln NI_{it} + \alpha_t X_{ijt} + \mu_i + \theta_t + \epsilon_{it} \quad (8)$$

$$e-structure_{ij} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln NI_{it} + \alpha_t X_{ijt} + \mu_i + \theta_t + \epsilon_{it} \quad (9)$$

其中， $e-consumption_{ij}$ ， $e-intensity_{ij}$ 和 $e-structure_{ij}$ 表示中国三十个省份在 t 年的能源消耗量、能源强度及能源结构； NI_{it} 表示各省该年用于新型基础设施建设的生产性资本存量，是本文的核心解释变量。 X_{ijt} 表示不同年份三十个省份的控制变量，包括燃料价格、外商直接投资、人均国内生产总值、工业化水平、城市化率及城乡差距； μ_i ， θ_t ， ϵ_{it} 分别表示省份固定效应、时间固定效应及随机误差项。

4.2.2. 空间计量经济模型

传统模型中，往往仅考量平面上的影响，而忽略了空间上的作用。本文运用三种空间模型，其中空间杜宾模型用以探究新型基础设施对能源消耗的空间效应。空间计量经济模型的方程式如下：

$$Energy_{it} = \alpha_0 + \rho \sum_{i=1}^N W_{ijt} Energy_{it} + \alpha_1 NI_{it} + \alpha_2 \sum_{(i \neq j)} W_{ijt} NI_{it} + \sum_{(k=1)}^{\sigma} \delta_k W_{ijt} X_{it} + \mu_i + \theta_t + \epsilon_{it} \quad (10)$$

其中， i 和 t 分别代表地区与年份， $Energy_{it}$ 表示能源消耗量或能源强度， NI_{it} 代表新型基础设施资本。 X 代表控制变量。为控制模型的异方差性和多重共线性，所有非指数指标均采用自然对数形式。

W 为空间权重矩阵。本研究采用地理空间权重矩阵与经济权重矩阵来衡量空间溢出效应。地理权重矩阵定义如下：

$$W_{ijt} = \begin{cases} 0, & i = j \\ 1/d_{ij}, & i \neq j \end{cases} \quad (11)$$

其中， d_{ij} 表示省会城市之间的地理距离，根据经纬度位置计算得出。经济权重矩阵定义如下：

$$W_{ijt} = \begin{cases} 0, & i = j \\ 1/e_{ij}, & i \neq j \end{cases} \quad (12)$$

e_{ij} 表示省会城市的经济距离，每个单元格为两地平均GDP差值绝对值的倒数。参照LeSage和Pace的研究，将总效应分解为直接效应与间接效应。具体而言，将空间模型转换为偏导数矩阵[30]。

5. 实证分析

5.1. 基准回归分析

本文分别运用普通最小二乘模型与空间杜宾模型，对新型基础设施对能源消耗和能源强度的主要影响进行回归分析。所得结果如表2所示。通过结果可见，能源消耗与新型基础设施之间存在显著的负向关系，新型基础设施的投入能显著降低能源强度。具体而言，每增加一单位新型基础设施投资，能源强度即降低18%。这表明，进行新型基础设施投资能显著减少单位GDP的能源排放，提升能源利用效率。对于能源消耗而言，其与能源强度的表现相似，从结果中可推断，每增加一单位新型基础设施投入，能源消耗即减少约8%。这意味着，新型基础设施不仅能降低能源强度，同时还能减少全社会的能源消耗，有助于缓解能源消耗的增长态势。

5.2. 机制分析

乘回归与三种空间模型回归，所得结果如表2所示。回归结果表明，无论采用何种模型，新型基础

设施对人力资本均具有显著正向效应，具体而言，新型基础设施每增加一单位，人力资本指数即提升约15%。

Table 2. Benchmark regression results
表 2. 基准回归结果

模型	静态面板模型(OLS)			空间杜宾模型(SDM)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>e-consum</i>	<i>e-inten</i>	<i>e-stru</i>	<i>e-consum</i>	<i>e-inten</i>	<i>e-stru</i>
新型基础设施	0.053* (0.030)	-0.174*** (0.027)	0.487** (0.241)	0.037 (0.058)	-0.184*** (0.046)	0.422 (0.400)
燃料价格	0.174** (0.079)	0.101 (0.080)	-1.562*** (0.431)	0.208 (0.178)	0.083 (0.141)	-1.367** (0.651)
外商直接投资	0.027 (0.029)	0.005 (0.025)	-0.040 (0.133)	0.029 (0.039)	-0.005 (0.032)	0.088 (0.184)
国内生产总值	0.063*** (0.013)	-0.077*** (0.014)	0.174* (0.093)	0.055* (0.030)	-0.077*** (0.028)	0.163 (0.163)
产业	0.307* (0.185)	-0.474** (0.190)	6.502*** (1.219)	0.279 (0.317)	-0.411 (0.302)	5.126** (2.447)
城市化	-0.065 (0.113)	-0.141* (0.085)	0.088 (1.220)	-0.064 (0.181)	-0.121 (0.149)	0.629 (1.700)
城乡差距	-0.260*** (0.053)	0.180*** (0.064)	1.805*** (0.337)	-0.223** (0.089)	0.212** (0.089)	1.483** (0.644)
常数项	8.240*** (0.498)	0.778 (0.475)	-11.542*** (2.821)			
W.新型基础设施				-0.110 (0.170)	-0.227 (0.149)	1.409* (0.739)
年份效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
个体效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
ρ^2				0.014*** (0.002)	0.013*** (0.002)	0.546*** (0.083)
N	570.000	570.000	570.000	570.000	570.000	570.000
R ²	0.962	0.952	0.751			

注：***，**，和*分别表示在1%、5%、10%水平上的显著性。()内数字为标准误。

关于新型基础设施投资对产业结构扭曲程度的影响，我们在表2的第二部分呈现了回归结果，其中第一列为普通最小二乘回归结果，第二列为空间杜宾模型回归结果。可见，两种模型的回归结果均显示，新型基础设施投资对产业结构扭曲具有显著影响，且能改善产业结构，进而优化能源消耗结构与能源强度。

如表 3 中所示, 普通最小二乘与空间杜宾模型的回归结果均通过了 99% 的显著性检验, 回归系数结果表明, 每增加一单位新型基础设施投资, 可分别使产业结构扭曲程度改善 11.6% 与 13.9%。上述结果表明, 新型基础设施投资能对产业结构扭曲产生显著影响, 进而促进产业结构优化, 推动能源强度与能源消耗状况的改善。

有关技术进步水平与新型基础设施投资之间的回归关系, 采用各省每年的全要素生产率作为衡量技术进步水平的变量。研究发现, 新型基础设施能显著提升全要素生产率, 即提高地区的技术进步水平, 具体而言, 每增加一单位新型基础设施投资, 可带动全要素生产率增长 0.9 个百分点。我们在表 2 的第五列与第六列呈现了回归结果。

Table 3. Mechanism regression results

表 3. 机制回归结果

变量	人力资本		产业结构扭曲		技术进步(FDI)	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
模型	OLS	SDM	OLS	SDM	OLS	SDM
新型基础设施	0.134*** (0.044)	0.119** (0.059)	0.116*** (0.045)	0.139*** (0.053)	0.823** (0.320)	0.891*** (0.235)
燃料价格	0.037** (0.018)	0.048 (0.030)	-0.033 (0.080)	-0.082 (0.164)	-0.923*** (0.263)	-1.240** (0.601)
外商直接投资	0.075 (0.062)	0.087 (0.157)	-0.047* (0.027)	-0.057 (0.054)	-0.018 (0.087)	0.052 (0.123)
国内生产总值	-0.043*** (0.012)	-0.029 (0.028)	-0.107*** (0.019)	-0.107** (0.043)	-0.034 (0.064)	-0.055 (0.155)
产业	0.350** (0.148)	0.163 (0.297)	6.663*** (1.193)	5.204** (2.201)	2.952*** (0.808)	2.385 (1.944)
城市化	0.315 (0.204)	0.476 (0.292)	-0.202 (0.146)	-0.367 (0.250)	1.714*** (0.467)	1.508 (1.110)
城乡化 差距	-0.228*** (0.049)	-0.235** (0.100)	0.038 (0.065)	-0.006 (0.121)	0.069 (0.266)	0.302 (0.671)
常数项	2.869*** (0.430)	0.448 (0.471)	-1.205** (0.569)		-3.951 (2.852)	
W.新型基础设施		0.055 (0.125)		0.132 (0.219)		0.871 (0.751)
年份效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
个体效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
ρ^2		0.009*** (0.002)		0.025*** (0.005)		0.288*** (0.051)
N	570.000	570.000	570.000	570.000	570.000	570.000
R ²	0.967		0.700		0.902	

注: ***, **, 和*分别表示在 1%、5%、10%水平上的显著性。()内数字为标准误。

5.3. 异质性分析

5.3.1. 不同人类发展指数下的空间效应

依据 2021 年的人类发展水平，中国各地区被划分为三类：东部发达地区人类发展水平较高，中部地区居中，西部地区相对较低。

采用面板固定效应模型与空间杜宾模型进行回归分析，结果显示，新基建投资对能源强度的影响随人类发展指数而变化，呈递增态势。在高收入省份，新基建投资对能源强度的减缓作用最显著，每增加一单位新基建投资，能源强度降低逾 0.3；相比之下，中等收入和低收入省份的影响分别为 0.15 和 0.1。

此外，空间杜宾模型结果表明，新基建投资在低人类发展指数区域具有显著的空间溢出效应，导致邻近区域能源强度也有所降低(表 4 展示了空间杜宾模型结果中的溢出效应分布)。

Table 4. Heterogeneous regression of different human development indices

表 4. 不同人类发展指数异质性回归

模型	静态面板模型(OLS)			空间杜宾模型		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
人类发展指数	低	中	高	低	中	高
新型基础设施	-0.050*	-0.152***	-0.330***	0.139***	0.823**	0.891***
	(0.027)	(0.049)	(0.053)	(0.053)	(0.320)	(0.235)
燃料价格	0.499***	-0.093	-0.342**	-0.082	-0.923***	-1.240**
	(0.148)	(0.135)	(0.135)	(0.164)	(0.263)	(0.601)
外商直接投资	0.005	0.057	-0.064*	-0.057	-0.018	0.052
	(0.074)	(0.036)	(0.036)	(0.054)	(0.087)	(0.123)
国内生产总值	-0.055***	-0.085***	0.031	-0.107**	-0.034	-0.055
	(0.015)	(0.030)	(0.042)	(0.043)	(0.064)	(0.155)
产业	-0.075	-1.225***	-0.264	5.204**	2.952***	2.385
	(0.286)	(0.286)	(0.338)	(2.201)	(0.808)	(1.944)
城市化	0.002	0.524	-0.582	-0.367	1.714***	1.508
	(0.097)	(0.758)	(0.365)	(0.250)	(0.467)	(1.110)
城乡化	0.080	0.344**	0.115	-0.006	0.069	0.302
差距	(0.101)	(0.139)	(0.133)	(0.121)	(0.266)	(0.671)
常数项	-1.040	-0.164	3.599***		-3.951	
	(1.040)	(0.507)	(0.890)		(2.852)	
W.新型基础设施				0.132		0.871
				(0.219)		(0.751)
年份效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
个体效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
ρ^2				0.025***		0.288***
				(0.005)		(0.051)
N	190.000	190.000	190.000	570.000	570.000	570.000
R ²	0.970	0.945	0.928		0.902	

注：***，**，和*分别表示在 1%、5%、10%水平上的显著性。()内数字为标准误。

5.3.2. 不同互联网普及程度的影响

本研究探讨了互联网普及程度不同的区域之间的差异，并得出了预期的结论。我们参照各地区互联网普及率，对所有三个组成部分进行了回归分析，以确定新型基础设施对各部分能源消耗和能源强度的具体影响。

考虑到互联网普及程度与地区之间的相关性较弱，我们采用线性回归来分析二者之间的关系。结果显示，在互联网普及程度适中的地区，新型基础设施投资对降低能源消耗和能源强度的作用更显著。然而，在互联网普及率较高或较低的地区，这种关系的影响力和解释力均有所减弱(表 5)。

Table 5. Heterogeneous regression of different Internet penetration rates

表 5. 不同互联网普及率异质性回归

资本类型	能源消耗			能源强度		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
互联网普及率	低	中	高	低	中	高
新型基础设施 re	0.149 (0.105)	-0.190** (0.093)	-0.085** (0.036)	-0.196*** (0.062)	-0.282*** (0.072)	-0.135*** (0.030)
燃料价格	-0.131 (0.160)	-0.021 (0.093)	-0.058 (0.088)	0.471*** (0.176)	-0.223*** (0.083)	-0.269** (0.110)
外商直接投资	0.054 (0.053)	0.086*** (0.023)	0.005 (0.015)	0.076 (0.054)	-0.039 (0.025)	0.012 (0.016)
国内生产总值	0.224*** (0.059)	-0.063** (0.028)	0.043*** (0.012)	-0.028 (0.066)	-0.172*** (0.028)	-0.030** (0.015)
产业	-0.840** (0.354)	-0.060 (0.398)	-0.069 (0.171)	-1.356*** (0.447)	-0.835*** (0.298)	0.244 (0.195)
城市化	-0.270** (0.125)	0.163*** (0.049)	-0.604 (0.522)	-0.081 (0.190)	0.121*** (0.038)	-1.562*** (0.597)
城乡化 差距	-0.074 (0.124)	-0.152 (0.111)	-0.563*** (0.145)	0.031 (0.176)	0.006 (0.116)	-0.268* (0.159)
常数项	7.511*** (0.982)	10.114*** (0.802)	11.506*** (0.682)	0.546 (1.017)	3.528*** (0.573)	2.631*** (0.869)
年份效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
个体效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
N	187.000	190.000	190.000	187.000	190.000	190.000
R ²	0.965	0.991	0.991	0.885	0.982	0.988

注：***，**，和*分别表示在 1%、5%、10%水平上的显著性。()内数字为标准误。

5.4. 稳健性检验

本研究采用信息技术与创新指标来替代新型基础设施资本投资。该指标基于与中国国内数字经济相关的多个因素进行加权，包括手机用户数量、电信服务总量、互联网宽带接入端口数、互联网用户数、

电话交换机容量、国内专利申请数以及技术市场成交额等。稳健性检验结果如表 6 所示，表明信息与研发指标均能有效降低能源消耗和能源强度，其效果与新型基础设施资本的作用类似。这表明新型基础设施有助于改善中国各省的能源状况，并进一步验证了本研究主要回归结果的稳健性。

Table 6. Robustness test
表 6. 稳健性检验

模型	静态面板模型(OLS)			空间杜宾模型		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>e-consumption</i>	<i>e-intensity</i>	<i>e-structure</i>	<i>e-consumption</i>	<i>e-intensity</i>	<i>e-structure</i>
数字化水平	0.303*** (0.093)	-0.599*** (-0.094)	-0.581 (-0.690)	0.346 (0.212)	-0.601*** (-0.197)	-0.640 (-1.329)
燃料价格	0.153* (0.079)	0.033 (0.079)	-1.465*** (0.453)	0.185 (0.178)	0.004 (0.130)	-1.147 (0.717)
外商直接投资	0.031 (0.030)	-0.009 (0.025)	0.001 (0.128)	0.034 (0.040)	-0.018 (0.037)	0.115 (0.197)
国内生产总值	0.061*** (0.013)	-0.072*** (0.014)	0.156* (0.093)	0.054* (0.028)	-0.066*** (0.024)	0.140 (0.163)
产业	0.399** (0.182)	-0.368* (0.197)	6.484*** (1.204)	0.375 (0.327)	-0.271 (0.366)	5.160** (2.462)
城市化	-0.078 (0.116)	-0.159* (0.088)	0.096 (1.254)	-0.092 (0.178)	-0.228 (0.144)	0.854 (1.684)
城乡化 差距	-0.291*** (0.051)	0.199*** (0.064)	1.695*** (0.339)	-0.264*** (0.085)	0.207** (0.085)	1.581** (0.675)
常数项	8.535*** (0.432)	-0.804** (0.385)	-7.533*** (2.242)			
W.数字化水平				0.005 (0.415)	-0.410 (0.686)	-1.441 (2.723)
年份效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
个体效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
ρ^2				0.014*** (0.002)	0.014*** (0.002)	0.559*** (0.088)
N	570.000	570.000	570.000	570.000	570.000	570.000
R ²	0.962	0.951	0.746			

注：***，**，和*分别表示在 1%、5%、10%水平上的显著性。()内数字为标准误。

6. 讨论与政策建议

新型基础设施自诞生以来，一直被视为中国经济转型的关键。本文认为，结合各类产业资本，新型基础设施可以为日益紧迫的能源问题提供解决方案。本研究运用空间杜宾模型与面板固定效应模型，探

探讨了新型基础设施投资对中国 30 个省份的空间与机制效应, 并精准分析了新型基础设施投资、能源消耗和能源强度之间的关系。

此外, 本研究还探讨了新型基础设施资本, 特别是信息通信技术与研发资本, 对中国 30 个省份能源消耗的影响。结果表明, 这两种资本对能源消耗及强度均产生了显著影响。这些发现与先前关于数字经济与能源消耗关系的研究结果相一致, 进一步证明了新型基础设施投资的重要性。

有证据表明, 新型基础设施对能源消耗具有空间溢出效应。新型基础设施对能源强度及消耗的影响在所有地区均有显现。然而, 该影响在经济发达地区更为显著, 在经济欠发达地区则相对较小。此外, 在经济欠发达地区, 新型基础设施资本的空间溢出效应更为显著。这或可归因于经济发达地区较高的工业发展水平, 使得新型基础设施能够引入新技术, 降低单位国内生产总值(GDP)的能源消耗。相反, 在欠发达地区, 新型基础设施的引入带动了工业发展, 进而增加了能源需求。这一发现弥补了先前研究对空间溢出效应关注的不足, 并为未来关于新型基础设施及其他资本研究中的空间溢出效应考察提供了更多契机。

参考文献

- [1] Gong, M., Zeng, Y. and Zhang, F. (2023) New Infrastructure, Optimization of Resource Allocation and Upgrading of Industrial Structure. *Finance Research Letters*, **54**, Article ID: 103754. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.103754>
- [2] WMO (2023) 2023 State of Climate Services: Health. Report WMO-No. 1335. <https://library.wmo.int/idurl/4/68500>
- [3] Xu, Q., Zhong, M. and Li, X. (2022) How Does Digitalization Affect Energy? International Evidence. *Energy Economics*, **107**, Article ID: 105879. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105879>
- [4] Adha, R., Hong, C., Agrawal, S. and Li, L. (2022) ICT, Carbon Emissions, Climate Change, and Energy Demand Nexus. *Energy & Environment*, **34**, 1619-1638. <https://doi.org/10.1177/0958305x221093458>
- [5] Salahuddin, M. and Alam, K. (2016) Information and Communication Technology, Electricity Consumption and Economic Growth in OECD Countries: A Panel Data Analysis. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, **76**, 185-193. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.11.005>
- [6] Schulte, P., Welsch, H. and Rexhäuser, S. (2014) ICT and the Demand for Energy: Evidence from OECD Countries. *Environmental and Resource Economics*, **63**, 119-146. <https://doi.org/10.1007/s10640-014-9844-2>
- [7] Xu, Q., Zhong, M. and Cao, M. (2022) Does Digital Investment Affect Carbon Efficiency? Spatial Effect and Mechanism Discussion. *Science of the Total Environment*, **827**, Article ID: 154321. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154321>
- [8] Awaworyi Churchill, S., Inekwe, J. and Ivanovski, K. (2021) R&D Expenditure and Energy Consumption in OECD Nations. *Energy Economics*, **100**, Article ID: 105376. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105376>
- [9] Godil, D.I., Sharif, A., Ali, M.I., Ozturk, I. and Usman, R. (2021) The Role of Financial Development, R&D Expenditure, Globalization and Institutional Quality in Energy Consumption in India: New Evidence from the QARDL Approach. *Journal of Environmental Management*, **285**, Article ID: 112208. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112208>
- [10] Shahbaz, M., Song, M., Ahmad, S. and Vo, X.V. (2022) Does Economic Growth Stimulate Energy Consumption? The Role of Human Capital and R&D Expenditures in China. *Energy Economics*, **105**, Article ID: 105662. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105662>
- [11] Lin, B. and Chen, Y. (2019) Will Economic Infrastructure Development Affect the Energy Intensity of China's Manufacturing Industry? *Energy Policy*, **132**, 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.05.028>
- [12] Sun, Y., Ajaz, T. and Razzaq, A. (2022) How Infrastructure Development and Technical Efficiency Change Caused Resources Consumption in BRICS Countries: Analysis Based on Energy, Transport, ICT, and Financial Infrastructure Indices. *Resources Policy*, **79**, Article ID: 102942. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102942>
- [13] Young, A. (2003) Gold into Base Metals: Productivity Growth in the People's Republic of China during the Reform Period. *Journal of Political Economy*, **111**, 1220-1261. <https://doi.org/10.1086/378532>
- [14] 张军, 章元. 对中国资本存量 K 的再估计[J]. *经济研究*, 2003(7): 35-43.
- [15] Schreyer, P., et al. (2009) Measuring Capital: OECD Manual 2009. OECD.
- [16] Cui, H., Cao, Y., Feng, C. and Zhang, C. (2022) Multiple Effects of ICT Investment on Carbon Emissions: Evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, **30**, 4399-4422. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22160-3>

-
- [17] Cui, S., Li, G. and Liu, J. (2022) Can Economic Growth and Carbon Emissions Reduction Be Owned: Evidence from the Convergence of Digital Services and Manufacturing in China. *Environmental Science and Pollution Research*, **30**, 20415-20430. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23175-6>
- [18] Belzer, D.B., Bender, S.R. and Cort, K.A. (2017) A Comprehensive System of Energy Intensity Indicators for the US: Methods, Data and Key Trends. Pacific Northwest National Lab. (PNNL).
- [19] Martinez, D., Ebenhack, B.W. and Wagner, T. (2019) Energy Efficiency: Concepts and Calculations. Elsevier.
- [20] Kuznets, S. (1971) Economic Growth of Nations: Total Output and Production Structure. Harvard University Press.
- [21] Ando, S. and Nassar, K. (2017) Indexing Structural Distortion: Sectoral Productivity, Structural Change and Growth. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3053201>
- [22] Shen, X. and Lin, B. (2021) Does Industrial Structure Distortion Impact the Energy Intensity in China? *Sustainable Production and Consumption*, **25**, 551-562. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.12.012>
- [23] Barro, R.J. (1990) Government Spending in a Simple Model of Endogeneous Growth. *Journal of Political Economy*, **98**, S103-S125. <https://doi.org/10.1086/261726>
- [24] Lucas, R.E. (1988) On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*, **22**, 3-42. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(88\)90168-7](https://doi.org/10.1016/0304-3932(88)90168-7)
- [25] Doytch, N. and Narayan, S. (2016) Does FDI Influence Renewable Energy Consumption? An Analysis of Sectoral FDI Impact on Renewable and Non-Renewable Industrial Energy Consumption. *Energy Economics*, **54**, 291-301. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.12.010>
- [26] Jorgenson, D.W., Ho, M.S. and Samuels, J.D. (2016) The Impact of Information Technology on Postwar US Economic Growth. *Telecommunications Policy*, **40**, 398-411. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2015.03.001>
- [27] Lange, S., Pohl, J. and Santarius, T. (2020) Digitalization and Energy Consumption. Does ICT Reduce Energy Demand? *Ecological Economics*, **176**, Article ID: 106760. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106760>
- [28] Wang, H. and Guo, J. (2022) Impacts of Digital Inclusive Finance on CO₂ Emissions from a Spatial Perspective: Evidence from 272 Cities in China. *Journal of Cleaner Production*, **355**, Article ID: 131618. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131618>
- [29] Wang, Q., Lin, J., Zhou, K., Fan, J. and Kwan, M. (2020) Does Urbanization Lead to Less Residential Energy Consumption? A Comparative Study of 136 Countries. *Energy*, **202**, Article ID: 117765. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117765>
- [30] Pace, R.K. and LeSage, J.P. (2009) Omitted Variable Biases of OLS and Spatial Lag Models. In: Páez, A., *et al.*, Eds., *Progress in Spatial Analysis: Methods and Applications*, Springer, 17-28. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03326-1_2