

分类号 F224.0/83
U D C _____

密级 _____
编号 10741

兰州财经大学

LANZHOU UNIVERSITY OF FINANCE AND ECONOMICS

硕士学位论文

论文题目 “新基建”对碳全要素生产率的影响研究

研究生姓名：徐敏雪

指导教师姓名、职称：傅德印、教授

学科、专业名称：应用经济学 数量经济学

研究方向：计量经济学方法与应用

提交日期：2023年5月30

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名： 徐敏雪 签字日期： 2023.5.30

导师签名： 傅沛印 签字日期： 2023.5.30

关于论文使用授权的说明

本人完全了解学校关于保留、使用学位论文的各项规定， 同意（选择“同意”/“不同意”）以下事项：

1. 学校有权保留本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；

2. 学校有权将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊（光盘版）电子杂志社”用于出版和编入CNKI《中国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分内容。

学位论文作者签名： 徐敏雪 签字日期： 2023.5.30

导师签名： 傅沛印 签字日期： 2023.5.30

Research on the Impact of "New Infrastructure" on Total Factor Carbon Productivity

Candidate: Xu Minxue

Supervisor: Fu Deyin

摘要

在“双碳”目标下，新基建的提出为经济高效、绿色低碳发展提供了一条新的路径。为响应“十四五”号召，加强新型基础设施建设，加快推进“双碳”目标的实现，围绕着新基建对碳全要素生产率的影响这一主题展开研究。首先，基于新基建与碳全要素生产率的发展背景及相关文献进行归纳梳理，提出所要研究的问题。其次，从多方面界定了新基建与碳全要素生产率的相关概念，并分析了新基建对碳全要素生产率的影响及可能存在的机制。基于中国 2006-2020 年省份面板数据，使用非期望产出—超效率 SBM 模型结合全局 GML(Globe Malmquist-Luenberger)指数测算碳全要素生产率增长率，并将其分解为技术进步与技术效率指数。根据得出的结果，从多角度对碳全要素生产率的时空演变进行分析。结合理论构建面板双固定模型，实证分析了新基建对碳全要素生产率的影响。进一步从信息基建、创新基建及融合基建三方面，分析不同类型新基建对碳全要素生产率的作用强度，并对模型进行区域异质性分析。在机制分析中，将产业升级、技术创新及资源配置作为中介变量，探究新基建对碳全要素生产率的影响路径。通过稳健性及内生性检验，进一步验证新基建对碳全要素生产率的影响。通过上述研究，提出可行性建议。

得出以下结论：（1）全国总体碳全要素生产率水平不断升高，技术进步的增长速度大于碳全要素生产率增长速度，是碳全要素生产率的主要动力源泉；东部地区与中西部地区碳全要素生产率存在差异，且差异不断增加。（2）新基建能够促进碳全要素生产率水平的提高，即能促进技术进步，又能提高技术效率，双重驱动碳全要素生产率水平的提高；信息基建、创新基建、融合基建对碳全要素生产率的影响均表现出显著的促进作用。（3）东部地区新基建对碳全要素生产率有显著的促进作用，中西部地区新基建对碳生产率的影响不显著。（4）新基建能够通过产业结构升级、技术创新、资源配置效率优化这三条路径提高碳全要素生产率水平；产业结构升级对碳全要素生产率的促进作用主要取决于技术进步，而技术创新与资源配置效率则体现在促进碳全要素生产率的技术效率的提高。

关键词：新基建 碳全要素生产率 非期望产出—超效率 SBM-GML 指数 三维核密度估计

Abstract

Under the "double carbon" goal, the proposal of new infrastructure provides a new path for economic, efficient, green and low-carbon development. In response to the call of the "Fourteenth Five Year Plan", to strengthen the construction of new infrastructure and accelerate the realization of the "double carbon" goal, research was carried out around the theme of the impact of new infrastructure on total factor carbon productivity. First of all, the relevant literature on new infrastructure and carbon total factor productivity is summarized and reviewed, and the issues to be studied are proposed. Secondly, it defines the concepts related to new infrastructure and total carbon factor productivity, and analyzes the impact of new infrastructure on total carbon factor productivity and possible mechanisms. Based on the provincial panel data of China from 2006 to 2020, the nonperiodic output super efficiency SBM model combined with the global GML (Globe Malmquist Lounberger) index is used to measure the growth rate of carbon total factor productivity, and it is decomposed into technical progress and technical efficiency indexes. According to the results obtained, the spatial-temporal evolution of total factor productivity of carbon is analyzed from multiple perspectives. Based on the theory, a panel double fixed model is constructed to empirically analyze the impact of new infrastructure on total factor carbon

productivity. Further, from three aspects of information infrastructure, innovation infrastructure and integration infrastructure, analyze the impact intensity of different types of new infrastructure on total factor carbon productivity, and analyze the regional heterogeneity of the model. In the mechanism analysis, industrial upgrading, technological innovation and resource allocation are used as intermediary variables to explore the impact path of new infrastructure on total carbon factor productivity. Through robustness and endogenous tests, further verify the impact of new infrastructure on total factor carbon productivity. Based on the above research, feasible suggestions are put forward.

The following conclusions are drawn: (1) The overall level of total carbon factor productivity across the country is rising, and the growth rate of technological progress is faster than that of total carbon factor productivity, which is the main source of carbon total factor productivity; There are differences in total carbon factor productivity between the eastern region and the central and western regions, and the differences are increasing. (2) The new infrastructure can promote the improvement of total carbon factor productivity, which can not only promote technological progress, but also improve technical efficiency, and double drive the improvement of total carbon factor productivity; The impact of information infrastructure, innovation

infrastructure and integration infrastructure on total factor carbon productivity has shown a significant role in promoting.(3) The new infrastructure in the eastern region has a significant role in promoting total factor carbon productivity, while the new infrastructure in the central and western regions has no significant impact on carbon productivity.(4) New infrastructure can improve carbon total factor productivity through three paths: industrial structure upgrading, technological innovation, and resource allocation efficiency optimization; The promotion effect of industrial structure upgrading on carbon total factor productivity mainly depends on technological progress, while technological innovation and resource allocation efficiency are reflected in the improvement of technological efficiency in promoting carbon total factor productivity.

Key words: New infrastructure; Total factor productivity of carbon; Unexpected output-super efficiency SBM-GML index; Three-dimensional kernel density estimation

目 录

1 问题的提出	1
1.1 研究背景与意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	2
1.2 国内外研究综述	2
1.2.1 “新基建”的研究现状	2
1.2.2 碳全要素生产率的研究现状	3
1.2.3 “新基建”对碳全要素生产率影响的研究现状	6
1.2.4 文献述评	7
1.3 研究内容及结构安排	7
1.3.1 研究内容	7
1.3.2 结构安排	8
1.3.3 边际贡献	9
1.3.4 不足之处	10
2 “新基建”对碳全要素生产率影响的理论分析	11
2.1 相关概念界定	11
2.1.1 新基建相关概念	11
2.1.2 碳全要素生产率相关概念	13
2.2 相关理论基础	14
2.2.1 基础设施相关理论	14
2.2.2 绿色经济相关理论	15
2.2.3 理论模型设定	16
2.3 “新基建”对碳全要素生产率的影响	17
2.3.1 “新基建”对碳全要素生产率的直接影响理论分析	17
2.3.2 “新基建”对碳全要素生产率影响的理论机制	19
3 “新基建”与碳全要素生产率的测算	21

3.1 “新基建”的测算.....	21
3.1.1 指标选取与说明.....	21
3.1.2 融合系数计算方法.....	21
3.1.3 现状分析.....	23
3.2 碳全要素生产率的测算.....	24
3.2.1 测算方法.....	24
3.2.2 指标选取.....	27
3.2.3 碳全要素生产率的时空演变分析.....	29
4 “新基建”对碳全要素生产率的影响分析.....	34
4.1 “新基建”对碳全要素生产率的直接影响分析.....	34
4.1.1 模型设定、变量说明及数据来源.....	34
4.1.2 实证结果分析.....	35
4.1.3 进一步分析.....	37
4.1.4 异质性分析.....	40
4.2 “新基建”对碳全要素生产率影响的传导机制分析.....	42
4.2.1 模型设定、变量说明及数据来源.....	42
4.2.2 实证结果分析.....	43
4.3 稳健性与内生性检验.....	47
4.3.1 稳健性检验.....	47
4.3.2 内生性检验.....	49
5 结论与建议.....	51
5.1 结论.....	51
5.2 建议.....	51
参考文献.....	54
致 谢.....	60

1 问题的提出

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

进入新发展阶段，我国经济发展取得了较为显著的成绩。与此同时，环境问题引起了人们的广泛关注。2020年，在《巴黎协定》的框架下，中国提出了“双重约束”自愿贡献目标，提出力争在2030年前实现“碳达峰”、2060年前实现“碳中和”。“十四五”规划和2035年远景目标纲要提出坚持节能优先方针，加强推进5G、人工智能、大数据中心、区块链等新兴领域能效水平的提升。在兼顾“双碳”目标的如期实现与推进经济蓬勃发展的双重目标下，5G及大数据中心的绿色低碳发展成为了新发展阶段的重点。

随着新一代信息技术的出现和发展，数字社会成为新发展阶段的必然产物，以数字化为核心的新型基础设施建设为绿色发展提供一条全新的重要途径。

《SMARTer2030》报告指出，预计未来10年内，数字技术有望使得全球二氧化碳排放量减少20%。据2020年研究发现，新基建在节能减排的综合效益高于传统基建。新基建对碳排放的影响，一方面通过使用先进技术，提高生产效率、减少自身的能耗，进而提高碳排放效率。另一方面通过助推其他行业加速产业结构转型、优化能源消耗结构与资源配置等多方面减少碳排放。可以看出，新基建既能提高经济发展水平，又能减少碳排放，是支撑经济社会绿色发展的公共基础设施与战略资源。

“双碳”战略努力兼顾经济发展和绿色转型同步进行，引导产业绿色转型及绿色技术创新，通过提倡绿色、低碳、环保的生活方式，从而促进碳减排的进程。碳全要素生产率是将低碳发展和经济增长双重目标融为一体的概念，反映了经济增长与碳排放之间的依存关系，是衡量经济绿色低碳发展程度的综合指标。研究“新基建”是否会促进碳全要素生产率的提高？通过哪种路径促进碳全要素生产率的提高？对我国经济绿色发展具有重要理论与实际意义。

1.1.2 研究意义

(1) 理论意义

在“双碳”背景下，针对二氧化碳排放引起的环境问题，将能源消耗和环境污染视为内生变量纳入生产函数，研究碳全要素生产率增长情况，不仅有利于加深我国对可持续发展的理解，也对我国政府制定相关政策以保护生态环境具有重要意义；从已有新基建相关研究来看，学者基于新基建与高质量发展关系的研究较多，对“新基建”与碳全要素生产率相关方面的研究较少。基于此，本文对新基建与碳全要素生产率的关系进行研究，能够丰富相关研究领域，为后人研究提供借鉴意义。

(2) 实际意义

“新基建”自提出以来，受社会各界广泛关注和研究。新基建的进一步发展符合我国现阶段的国情。然而“新基建”概念提出较晚，相关方面建设还不够完善。随着我国数字经济发展水平不断上升，新基建作为数字经济发展的桥梁，支撑着数字经济的发展。本文通过对相关文献进行梳理分析，结合理论与实证方法分析新基建对碳全要素生产率的影响及影响路径，为新时代政府推动新型基础设施投资和提高全要素生产率提供了依据，为“新基建”布局发展及推动“双碳”目标实现的路径探索提供重要的实践应用价值。

1.2 国内外研究综述

1.2.1 “新基建”的研究现状

目前学者对新基建的研究，主要基于“新基建”对产业结构升级、技术创新、出口贸易及高质量发展等方面影响的研究。

“新基建”对产业结构升级的影响。不同学者分别基于不同角度进行研究，何玉梅等（2021）研究发现，新型数字基础设施能够通过直接和间接的方式助力产业结构升级，并且其对不同城市产业升级的作用程度存在差异^[26]。潘雅茹等（2022）估算了狭义和广义新基建，并得出两种口径下新型基础设施投资对第三产业转型升级均有显著的促进作用^[42]。王志刚、黎恩银（2022）对比分析了新基

建与传统基建对产业结构升级的影响效应,发现相较于传统基建,新基建对产业结构升级的影响效应更强^[54]。“新基建”对技术创新的影响。新基建对技术创新具有直接和间接影响,宋德勇(2021)基于智慧城市试点的论据,发现新型基础设施建设能促进绿色技术创新的“量质齐升”^[44]。赵星(2022)研究发现新型数字基础设施能够显著的促进对地区技术创新水平的提高,并且能够通过优化资源配置等路径对技术创新发挥作用^[72]。

“新基建”对出口贸易的影响。钞小静(2020)从技术扩散视角出发,研究发现新型数字基建能够通过技术溢出效应促进对外贸易的升级,并且比互联网应用水平对出口的促进作用更加明显^[16]。冯正强,于佳惠(2021)认为信息基建能够通过技术溢出效应和成本节约效应分别从“质”与“量”两方面推动出口技术水平的提高及出口规模的扩大^[21]。李楠(2022)发现数字基建能通过成本效应和替代效应提升制造业企业出口国内附加值率,并且随着替代效应和成本效应的增加,其对出口附加值率的促进作用也逐渐增大^[32]。

“新基建”对经济高质量发展的影响。郭朝先等(2020)认为新基建为中国经济高质量发展提供了新动力,能够推动产业融合发展,带动经济增长,促进经济的包容性发展^[23]。张晓民等(2021)从理论上阐述了新基建的发展与应用对我国经济社会高质量发展的重要性^[70]。钞小静等(2021)从多个环节论证了数字基础设施能够促进制造业高质量发展,并且生产制造升级、市场匹配优化在此过程中起到了中介效应^[15]。刘涛(2021)从效率与路径两方面,论证了新基建对经济高质量发展的促进作用,不同类型的新基建对经济高质量发展的作用强度存在差异^[36]。

1.2.2 碳全要素生产率的研究现状

针对于目前国内外学者对碳全要素生产率的研究,本文主要从碳全要素生产率的测算、时空演变特征、影响因素三方面进行展开梳理。

(1) 碳全要素生产率测算。碳全要素生产率的测算方法是在全要素生产率的测算中不断完善过程中形成的,一类是含参数的生产函数法,主要是索洛余值法和随机前沿生产函数法。另一类是非参数的生产率指数法,多指数据包络分析法。

索洛余值法是 Solow (1957) 提出了一种全要素生产率的测算方法, 他认为总产出增长率减去资本和劳动增长率后所剩的“余值”即为全要素生产率^[9]。该方法必须满足完全竞争和利润最大化两个假设, 与现实存在偏差。为解决这个问题, Meeusen&van den broeck (1977) 提出随机前沿生产函数法。但该方法只适用单产出、多投入的方法, 不能评估环境的经济效率^[7]。Charnes 等 (1978) 提出数据包络分析法 (DEA), 其作为一种数据驱使的方法, 适用于多投入多产出的生产方式, 但要求投入和产出同时增减^[2]。方向距离函数 (DDF) 的提出, 有效的衡量了存在环境污染造成的非期望产出时的生产效率问题 (Farrell, 1989)^[3]。在此基础上, Tone (2001) 提出非径向、非角度的 SBM 模型, 适用于投入指标存在投入过多和产出指标产出不足情况下的效率测度问题, 比较符合实际^[12]。

对生产率进行动态分析时, Malmquist 指数能够较好的衡量生产率的变动情况。Caves (1982) 等受到 Malmquist (1953) 提出的缩放因子概念的启发, 结合 DEA 提出 Malmquist 指数来反映全要素生产率变化情况^[1]。传统的基于产出距离函数所构建的 Malmquist 指数并不适用于解决存在非期望产出的情形, 具有相加结构的 Luenberger 指数以及 Malmquist-Luenberger (ML) 指数的出现适用于存在非期望产出的情形, 然而这两种指数可能会出现存在不可行解的问题, OH (2010)^[8]提出的 Global Malmquist-Luenberger 指数, 有效解决了线性规划不可行解决这一问题。

近年来, 数据包络分析及其扩展模型被广泛用于区域 (李莎, 2021; 李凯风, 2022)^{[33][30]}、火电行业 (陆丹丹、孙华平, 2021)^[39]等方面全要素生产率的测算中。对于碳全要素生产率的测算, 张丽峰 (2013)^[67]、苏方林 (2019)^[45]基于 DEA-Malmquist 方法测算了我国各省份的碳全要素生产率, 并对测算结果进行了分解。袁润松 (2016) 基于 DDF 和 SBM 构造了非参数化的绿色低碳全要素生产率测算模型^[64]。刘传江、赵晓梦 (2016) 利用 Malmquist 指数测算了长江经济带全要素碳生产率^[37]。李博 (2016)、王凯 (2020) 运用 Malmquist Luenberger 指数分别测算了中国区域、旅游业的碳全要素生产率并对其进行分解^{[28][49]}。高文静 (2018) 在全要素生产率的框架下, 使用 DDF 对工业碳全要素生产率指数进行了测算^[22]。郭卫香 (2020) 基于 SBM-DDF 模型, 对中国省域全要素碳生产率进行了测算, 并分析了全要素碳生产率的空间分布特征^[24]。

(2) 碳全要素生产率的时空演变及收敛性研究。程云鹤(2012)认为中国低碳全要素生产率整体呈现上升趋势,不同区域存在显著差异^[18]。王凯等(2020)研究发现,中国旅游业 TFCP 呈现增长趋势,东部的 TFCP 较中西部高,且技术进步是旅游业 TFCP 增长的动力源泉^[49]。李铭泓等(2021)认为碳全要素生产率在时间上均呈现缓慢上升趋势,并且存在正向空间相关性^[31]。李海鹏、王子瑜(2020)研究发现在技术进步和要素替代效应的作用下,中国农业碳生产率逐年提高,单位 GDP 碳排放量呈现逐年下降的趋势^[29]。

(3) 碳全要素生产率的影响因素研究。目前学者较多从技术创新、政府干预、对外开放、产业结构等方面展开研究。

技术创新对全要素生产率的影响,岳立(2021)提出技术进步能够促进所有发展阶段经济体的碳全要素生产率水平,并且存在显著的非线性双重门槛效应^[65]。武力超(2021)认为绿色创新能显著的提高企业的全要素生产率水平^[57]。Sun Haibo(2022)研究发现,清洁技术创新能够促进工业绿色全要素生产率,这种影响的大小在不同地区存在差异^[10]。张宁(2022)认为,在“双碳”目标下,低碳技术创新是提升碳全要素生产率的主要驱动因素^[68]。

产业结构升级对碳全要素生产率的影响。王淑英(2021)发现产业结构高级化与产业结构合理化均对本地区和相邻区域的碳全要素生产率具有显著的促进作用^[52]。刘璇、李长英(2022)研究发现互联网背景下,产业结构高级化能够显著的促进全要素生产率的提高^[38]。

对外开放对碳全要素生产率的影响主要体现在两方面。一方面,对外直接投资对碳全要素生产率的提高发挥显著促进作用,通过技术进步、产业结构、规模效应和技术效应对碳全要素生产率产生间接影响(张文彬,2019;王丽,2022)^{[69][50]}。另一方面,外商直接投资、对外直接投资的深度和广度对各行业低碳全要素生产率水平的提高起着抑制作用(王慧,2020)^[48]。此外,全球价值链嵌入能直接提高工业低碳生产率,并且能够通过规模效率、技术进步等路径对中国工业低碳全要素生产率的增长发挥促进作用(谢会强等,2018;孙华平,2020)^{[58][46]}。

其他影响因素研究。政府干预对碳全要素生产率的影响因政策及区域不同存在差异。其中,环境规制、政府支持会促进全要素碳生产率的提升(郭卫香,2020;王淑英等,2021)^{[24][51]},并且不同地区环境规制对碳全要素生产率的影响不尽

相同（杨德云等，2021）^[61]。路正南等（2018）研究发现，在产业集聚受到政府过度干预的情况下，会产生由“政策租”所导致的“企业扎堆”现象，这种现象不利于碳排放强度的治理与改善^[40]。城镇化水平会导致碳排放的增加（林伯强，2010）^[34]，抑制碳排放效率的提高（王鑫静、程钰，2020）^[53]。能源消耗在全国样本、高经济增速组样本和低经济增速组样本中均对碳排放具有显著的促进作用（杜宇，2019）^[20]。

1.2.3 “新基建”对碳全要素生产率影响的研究现状

新型基础设施建设的概念提出较晚，相关研究较少。本文从直接影响与传导机制两个方面对“新基建”与碳全要素生产率二者之间的关系的相关文献进行梳理。

“新基建”对碳全要素生产率直接影响的相关研究。白雪洁等（2021）研究发现互联网发展对全要素碳生产率的影响存在门槛效应，整体呈现非线性性，当超过门槛值后，这种影响会显著增加^[14]。文传浩（2021）提出新基建在加快工业污染减排进程中发挥重要作用，且信息基建、融合基建和创新基建均能抑制碳排放水平的提高^[55]。周晓辉等（2021）通过对数字经济指标降维研究发现，滞后一期与滞后二期的数字基础设施能够促进绿色全要素生产率水平的提高^[73]。

“新基建”对碳全要素生产率影响机制的相关研究。罗良文等（2016）认为新型基础设施投资可以作为技术创新对全要素生产率影响的中介变量，并从自主研发能力和科学技术引进两个方面分别分析了基础设施投资的门槛效应^[41]。刘传明等（2020）将“宽带中国”试点政策作为网络基础设施建设的一项准自然实验进行实证研究，发现网络基础设施建设能够通过优化产业结构升级等路径促进全要素生产率的提高^[35]。张永庆等（2020）研究发现，信息基础设施能够显著的促进全要素生产率的提高，并且对不同地区影响不同。此外，技术创新是信息基础设施间接提高全要素生产率的一条路径^[71]。陈开江（2021）从理论分析与实证研究方面分析了数字化新基建对流通业全要素生产率的影响，得出数字化新基建不仅能够直接促进流通业全要素生产率的提高，而且能够通过优化要素配置等三条路径间接提升流通业全要素生产率^[17]。Tang Chang 等（2022）采用双重差分法，研究信息基础设施建设对生态效率的影响，得出信息基础设施建设对生态效率有

显著的促进作用；能够通过绿色创新、产业结构升级和资源配置效率来促进生态效率的提高^[11]。

1.2.4 文献述评

由于“新基建”提出时间尚短，目前国内外学者“新基建”的相关研究相对较少，主要基于对“新基建”与经济增长的关系进行了深入研究，从定性定量角度说明了“新基建”对经济增长的重要性。然而很少将碳排放与经济结合，研究“新基建”对碳全要素生产率的影响，并且对碳排放的测算多基于能源消耗产生的碳排放。基于此，本文在综合考虑各部门能源消耗和水泥生产过程中产生的碳排放来衡量总体碳排放水平，使用非期望产出—超效率 SBM-GML 指数模型对碳全要素生产率进行测算。在此基础上，从时间与空间角度运用三维和密度估计图与空间地理热力图对碳全要素生产率的时空演变特征进行分析。理论上阐述“新基建”对碳全要素生产率的影响及影响机制，运用实证模型进一步验证。对“新基建”发展、碳全要素生产率的提高及以“新基建”助力节能减排提供了借鉴意义。

1.3 研究内容及结构安排

1.3.1 研究内容

本文基于“新基建”对碳全要素生产率这一主题展开研究。首先，通过梳理相关研究、理论基础、作用机理等方面理论，深入了解新基建与碳全要素生产率的内涵与两者的关系。其次，使用非期望产出—超效率 SBM 结合全局 GML 指数模型对碳全要素生产率进行测算并分解，根据回归结果，使用折线图、三维核密度估计图及热力图分析碳全要素生产率的时空演变特征。再次，构建计量模型实证探究“新基建”对碳全要素生产率的直接影响，分析了不同维度新基建对碳全要素生产率的影响强度。基于区域差异，对模型进行了区域异质性分析。并分别从产业结构升级、技术创新、资源配置效率三个角度研究新基建对碳全要素生产率的影响机制，通过稳健性与内生性检验进一步验证模型的可靠性。最后，基于上述研究结果给出结论，并提出相关的政策建议。

1.3.2 结构安排

根据研究内容，本文结构安排具体分为以下五个部分：

第一部分，问题的提出。阐述本文的背景与意义，梳理能够支撑本文研究主题的国内外相关文献，根据前人的研究成果，提出本文所要研究的问题，确定各个章节的具体内容和结构安排。

第二部分，“新基建”对碳全要素生产率的影响理论分析。主要从概念界定、理论基础、影响机理三个方面对理论进行分析。首先对“新基建”和碳全要素生产率的相关概念进行界定，以便深入了解两者内涵及关系。其次，阐述了基础设施建设相关理论与绿色经济相关理论，为新基建助力碳全要素生产率提高提供了指导方法。再次，从理论上分析新基建对碳全要素生产率的直接影响及影响机制，为后文实证分析提供理论支撑，并提出了 3 条假设。

第三部分，“新基建”与碳全要素生产率的测算及现状分析。基于理论与前人的研究基础上，从信息基建、创新基建与融合基建三个维度构建“新基建”综合指标，使用耦合协调模型计算“新基建”与传统基建的耦合协调系数表示融合系数，进而计算融合基建发展水平。使用非期望产出—超效率 SBM 模型结合全局 GML 指数模型测算碳全要素生产率增长率及其分解指标，从技术进步和技术效率两方面，分析提高碳全要素生产率的动力源泉。使用折线图、三维核密度估计图及热力图，分别从时间和空间角度分析碳全要素生产率时空演变特征。

第四部分，“新基建”对碳全要素生产率的影响分析。首先，基于定性与定量分析视角下，构建面板实证模型。根据理论及前人研究，选取合适的控制变量并进行说明。其次，基于回归结果，分析“新基建”与传统基建对碳全要素生产率影响，并从信息基建、创新基建、融合基建三方面进一步分析。并对模型进行区域异质性分析。再次，在模型中引入产业结构、技术创新与资源配置效率作为中介变量，分析“新基建”对碳全要素生产率的影响路径。最后，通过稳健性及内生性检验进一步验证了模型的可靠性。

第五部分，结论和建议。对相关理论与实证分析结果进行总结。根据研究结论，给出可行性建议。

本文研究框架如图 1.1 所示：

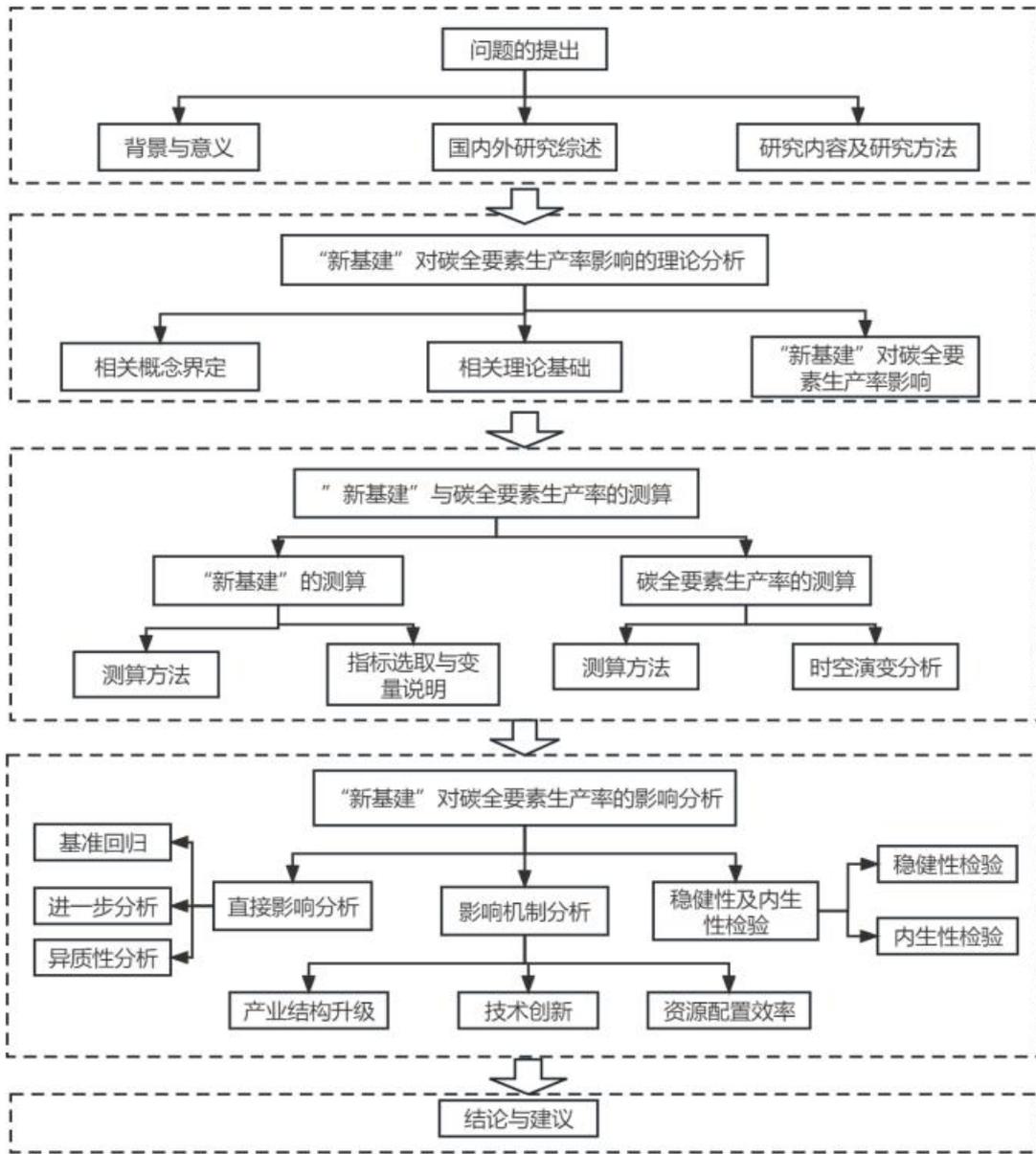


图 1.1 技术路线图

1.3.3 边际贡献

视角上，新基建作为新兴产业对我国环境效率起着重要作用，在“双碳”目标的背景下，“二十大”报告提出了“着力”提高全要素生产率，在贯彻双碳目标，立足于提高全要素生产率视角下，研究新基建发展对碳全要素生产率的影响，对我国新基建与经济环境协调发展具有重要意义。碳排放的计算上，在能源消耗产生碳排放的基础上，计算了水泥生产过程中二氧化碳排放量，计算结果更加精

确。在碳全要素生产率的测算上，使用非期望产出—超效率 SBM 指数模型结合全局 GML 指数模型，对碳全要素生产率进行测算并分解，分别研究新基建对碳全要素生产率及其分解的影响，追溯新基建作用于碳全要素生产率的动力源泉。

1.3.4 不足之处

研究对象方面，本文使用的是省际数据，样本量相对较小，研究的范围有限。不同地区新基建发展水平的存在一定的差异，需进一步拓宽样本容量，进行更加深入细致的研究。指标测算方面，新基建及其不同子维度下基建指标的测算不够精确，由于目前国家统计局尚未统计信息基建、创新基建、融合基建的投资额，也没有具体衡量指标，本文使用相似指标代替，测算结果不够精准，新基建的测算仍需进一步探究。

2 “新基建”对碳全要素生产率影响的理论分析

2.1 相关概念界定

2.1.1 新基建相关概念

(1) 基础设施的内涵

基础设施是物质与劳动生产的重要条件，能够保障国家和社会经济活动正常进行、提高人们的生活水平、进行大范围的社会资源共享的公共服务体系，是为我国社会各项事业建设与发展、人们活动提供保证的重要基石。具有基础性、公共性和能够产生外部性社会效益的特点。目前，不同国家和地区对基础设施的解释不同，主要从狭义和广义两个方面进行表述。狭义上认为，基础设施建设能够通过有形的物质创造物质生产生活所需要的条件，包括水利、电力、交通等。广义上的认为，基础设施不仅包含了有形的物质设施，也将教育、文化等无形资产生产部门包含在内。

(2) 基础设施建设

基础建设指的是国民经济各部门为加快经济、社会发展进行固定资产投资的项目，即国民经济各部门为增加固定资产而进行的建筑、购置和安装工作的总称。基础设施的建设是政府对各项基础设施的投资和建设，基础性项目投资具有初始投资大、建设周期长、后期回收慢等特点。目前，我国城市基础设施建设在部分领域存在一些问题。这些也都是制约经济发展的瓶颈，所以要加强基础设施的建设。

(3) “新基建”内涵

“新基建”的概念在 2018 年 12 月中央经济工作会议上首次被提及，明确指出加强对工业互联网、大数据以及物联网等新兴基础设施的建设。自 2020 年以来，我国大力推进新基建，开展由点到面的密集规划与部署，提出要加速建设新型基础设施的进度。“新基建”的出现并不是偶然的，是历史与时代进程的必然产物。新基建是建立在传统基础设施发展的基础上，由传统基础设施的信息化、数字化、智能化转型而来，是在发展过程中不断丰富和延申的概念。

目前,国内对新基建讨论较多的主要集中在学术界、新闻媒体与金融市场,分别对新基建内涵给出了不同的解释。基于对新基建层面理解的差异,分别从窄、中和宽三个口径进行理解。在窄口径维度下认为,新基建是顺应新时代数字经济发展趋势,与新一代信息技术和数字技术有联系较为紧密的基础设施,包括5G、数据中心、人工智能、工业互联网、物联网等新一代信息技术。在中口径维度下认为,新基建所涉及的领域是与信息、交通、水利等民生和企及生产等密切相关重点行业,具体包括5G基建、大数据中心、人工智能、工业互联网、物联网、特高压、城际高速铁路和城际轨道交通、新能源汽车充电桩这七大领域。在宽口径维度下认为,新基建是以技术创新为驱动,以信息网络为基础,以高质量发展为目标,提供数字转型、智能升级、融合创新等服务的基础设施体系。主要概括为三类:一是窄口径维度下的信息基础设施建设;二是以大型科研装置、超级计算中心等为代表的科技创新基础设施建设;三是以智慧交通、智慧能源等为代表的支撑智慧城市等应用的融合基础设施建设。

本文认为,新基建在当前经济发展水平下,加快投资、建设和运行基础设施项目的总称。它既包括传统意义上的基础设施建设项目,如电力、通信、交通等;也包括新兴领域中的新型基础设施建设项目。新基建是新发展阶段技术革命的产物,代表先进的生产力,满足高质量发展需要,与信息网络技术、智慧交通、科研创新等相关的基础设施建设。能够推动传统基建网络化、数字化、智能化转型,与各行各业相互融合与创新的基础设施,具有较好的包容性,更适合当下技术发展现状和基础设施的发展环境。

(4) 新基建的特征

“新基建”的新主要体现以下几个方面:首先是新的技术。新基建涵盖5G、区块链、机器视觉等前沿技术;其次是新的模式。通过新技术的应用,孵化出新的产业形态和具有创新的应用生态,对供给侧进行扩大,产生更具有创造性的经济模式,用来拉动当前的各种服务业市场等的经济增长,利用新的技术、服务使得拓展经济活动空间成为一种可能,从而孵化出新的战略产业;再次是新的领域。与传统的铁路、桥梁等基建相比,新基建在智慧交通、智慧城市等领域应用较为广泛。

新基建不仅具有符合传统基础设施特征的基础性、公共性,还具备创新、

智能、安全等新特点，是实现我国从高速发展转型至高质量发展的重要一步。此外，新基建与传统基建相互补充、相互促进。传统基础设施作用于注重有形连接的实体空间，新型基础设施将实体空间拓展到了虚拟空间，注重虚拟空间的无形连接。推进新基建，能够发挥和放大传统基建的功能与作用。因此，需要将新基建和传统基建相结合，在发展新基建的同时，充分发挥传统基建的价值，实现对经济绿色发展的“双轮”驱动。

2.1.2 碳全要素生产率相关概念

(1) 单要素生产率

单要素生产率理论是单个产出占单一投入的比重，古典经济增长理论背景下，法国经济学家萨伊提出资本、劳动、土地是社会生产的三种必要元素，认为这三种要素在经济社会生产过程中发挥着各自的职能，投入劳动会获得工资，投入土地会获得地租，投入资本会获得利息，从价值论角度上，收入是生产的成本并由商品的价值决定。要素生产率表示各要素产出占投入的比重，衡量投入产出效率。比如，投入一单位资本，劳动、土地等单一要素所获得的产出数量就是资本生产率、劳动生产率、土地生产率，这便形成了单要素生产率理论。

(2) 全要素生产率

由于经济间要素是相互联系，产出往往涉及多种投入，单要素生产率虽操作简单，但是往往不能衡量多种要素的投入产出效率。全要素生产率的出现解决了这一问题，全要素生产率能够衡量多种投入和产出效率，综合考虑多种因素对总产出的作用，较单要素生产率能够更加准确衡量产出效率。希朗·戴维斯(Hiam Davis)著作的《生产率核算》中指出，全要素生产率是指全部有形生产要素的投入之外能对经济增长产生贡献的因素，即总产量与全部要素总投入量之比。此后，1957年，索罗把技术进步纳入到生产函数中，提出索罗增长模型。即总产出增长率去除劳动、资本要素增长率后的余值就是技术进步率，并用此表示全要素生产率的增长率。全要素生产率能通过提高创新、改进方法等方式来反映总体生产率变化水平。

(3) 绿色全要素生产率

绿色全要素生产率是将环境因素纳入到全要素生产率测算模型,考察环境影响下的经济发展效率。随着可持续发展理论的提出,人们对环境保护的意识逐渐增强,改变了对传统经济增长的看法,认为经济增长不应建立在环境污染的基础上,应建立环境友好型社会,走绿色可持续发展的道路。绿色全要素生产率较早期的全要素生产率考虑能源与环境问题,能准确表示经济的绿色发展。因此,许多学者将资源消耗与环境污染纳入全要素生产率的测算指标体系中,用以衡量经济绿色发展水平。由此得出的全要素生产率就是绿色全要素生产率,也有部分学者将其称之为环境全要素生产率、低碳经济。

(4) 碳全要素生产率

碳全要素生产率,目前学者分别从产出和投入角度对其进行定义,从产出角度将其定义为:“在固定资本、劳动力一定的条件下,GDP(期望产出)达到最大时,碳排放量(非期望产出)为最小”^[13]。从投入角度,定义为“在碳排放量、固定资本和劳动力一定的条件下,实际产出所能达到的最大程度”^[19]。而相较于单要素生产率,碳全要素生产率能够衡量多种要素的投入产出效率,并且较绿色全要素生产率,碳全要素生产率能够突出低碳经济效率。

本文认为,碳全要素生产率是基于碳排放视角下,考虑环境污染与能源消耗的绿色全要素生产率。在全要素生产率模型中纳入能源消耗及碳排放,评价碳全要素生产率指标。碳全要素生产率融合了经济高质量发展与低碳发展的双重目标为一体的概念,结合碳排放与经济产出衡量经济绿色发展效率。

2.2 相关理论基础

2.2.1 基础设施相关理论

古典经济学理论认为,基础设施建设能够激发新的产业出现及多样化发展,有利于市场分工的精细化和产业结构的合理化,降低成本、促进经济效率的提高。基础设施在经济学中的核心作用是“提高生产效率和产出水平”,随着理论的不加深和扩展,基础设施发挥的作用也不断丰富,尤其是在拉动需求和创造就业方面基础设施发挥着重要作用,并且在金融杠杆的作用下能够产生附带价值。然而在经济学理论上这些作用只是短期有效,经济长期的增长离不开基础设施投资

等活动的外部性作用。基础设施根本意义与长期的作用则是“提高产出水平和生产效率”。内生经济理论则提出，经济性的基础设施在生产中作为中间投入，能够有效的降低其他生产要素的生产成本，促进要素边际生产力水平上升，从而直接提高生产效率。此外，还能够促进社会化大生产、深化劳动分工等作用，间接的促进经济发展。然而相比于其他同类似较大工程，基础设施工程本身的投入—产出比相对较低。这也说明了在社会经济发展不断提高时，基础设施工程对于经济增长有更加明显的拉动作用，从宏观层面来看，基础设施实际对经济增长提供了一个动力加速度。

2.2.2 绿色经济相关理论

(1) 绿色经济理论

1989年，“绿色经济”的概念出现在《绿色经济的蓝图》中，认为绿色经济是以在经济社会发展和生态环境所承受范围内的一种经济。绿色经济理论的发展是建立对传统经济的不断拓展及改进的基础上，一些经济学家指出，传统经济体系与绿色发展之间不匹配，体现在公共物品具有负外部性，对其进行定价和交易时，产权不清，从而导致环境效益问题难以界定，造成市场失灵。环境经济学的出现有效解决了这种问题。环境经济学立足于环境中所包含事物所具有的特点，通过经济学的手段，使人类能够发挥资源效益最大化，完成自然资源管理，该理论在传统经济学的基础上考虑了环境因素。《绿色经济蓝皮书》中首次介绍了绿色经济的内涵，将环境做为经济的内生变量，并同时考虑环境效益与经济效益。处理好经济发展与生态环境的关系，是绿色发展和社会可持续发展的共同目标。

绿色经济理论强调“以人为本”，但不能忽略环境的作用。认为经济发展必须使生态系统利益最大化，在追求经济发展和自身经济利益的同时，不能以牺牲环境为代价，应建立在环境所能承载的范围之内，生产应该朝着低碳、节约、环保的方向前进。绿色经济作为可持续发展的必经之路，需要在兼顾经济增长与环境保护的前提下，合理开发利用资源，通过促进产业结构升级、改善能源消耗结构等方式提高资源配置效率。根据不同产业及地区特点，通过使用不同的政策和途径推动区域及产业的绿色发展。从绿色消费、绿色技术和绿色生产等途径构建生活质量不断提高和生态环境不断改善的新的经济发展模式。

(2) 低碳经济理论

低碳经济是以减少温室气体排放为目标、以低碳发展为导向，以节能减排为发展方式，以技术创新为驱动，构建低能耗、低排放的绿色可持续的发展体系。利用技术创新、产业结构升级、资源配置优化等多种方式降低高碳锁定效应，进一步减少二氧化碳等污染气体的排放，以实现经济社会高效发展及环境绿色低碳双重发展的目标。低碳经济需要从节能与减排两个方面进行，一方面，保护生态环境，增加生态系统对二氧化碳排放的吸收；另一方面，以低碳化为方向调整经济发展中的各大产业、能源消耗和生活消费等的发展模式，从源头降低以二氧化碳为主的温室气体的排放量，以达到遏制全球气候变暖的最终目标。

2.2.3 理论模型设定

根据 Hulten (2006) 的理论，基础设施可以作为一种投入要素直接对经济增长产生影响^[5]。因此，本文基于内生经济增长模型，将新型基础设施纳入生产函数的分析框架，以分析新型基础设施建设对碳全要素生产率的影响。借鉴孙尚斌 (2022)^[47]的做法，具体建立如下模型：

$$Y_{it} = A_{it} G_{it}^{\alpha} L_{it}^{\beta} K_{it}^{\gamma} E_{it}^{\delta} e^{\varepsilon_{it}} \quad (2.1)$$

其中， Y_{it} 表示 i 地区在 t 年时的总产出（包括好产出和坏产出）， G_{it} 表示 i 地区在 t 年时的新型基础设施投入， L_{it} 为 i 地区在 t 年时劳动力投入， K_{it} 为 i 地区在 t 年时资本投入， E_{it} 为 i 地区在 t 年时能源投入， A_{it} 为 i 地区在 t 年时希克斯中性函数。根据索洛余值的定义，总产出增长率扣除劳动和资本能源增长率后所剩的“余值”即为全要素生产率。表示为：

$$y_{it} = \frac{Y_{it}}{L_{it}^{\beta} K_{it}^{\gamma} E_{it}^{\delta}} = A_{it} G_{it}^{\alpha} e^{\varepsilon_{it}} \quad (2.2)$$

其中， y_{it} 表示 i 地区在 t 年时地区碳全要素生产率，沿用 Hulten (2006) 的假设，影响希克斯效率的因素众多且是可乘的，将其表示为：

$$A_{it} = A_{i0} e^{\lambda t} X_{it}^{\mu} \quad (2.3)$$

式中， X_{it} 表示*i*地区在*t*年时其他可能会对碳全要素生产率的产生影响的因素，代入式(2.4)，得：

$$y_{it} = A_{i0} e^{\lambda t} X_{it}^{\mu} G_{it}^{\beta} e^{\varepsilon_{it}} \quad (2.4)$$

对两边取对数，得：

$$\ln y_{it} = \ln A_{i0} + \lambda_i t + \beta \ln G_{it} + \mu \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2.5)$$

进一步简化式(2.5)，最终设立以下计量模型：

$$\ln CTFP_{it} = \alpha_0 + \alpha_i \ln G_{it} + \mu \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2.6)$$

其中， $CTFP_{it}$ 为*i*地区在*t*年时碳全要素生产率，表示包含了碳排放（坏产出）的城市的绿色全要素生产率， G_{it} 表示*i*地区在*t*年时新型基础设施建设水平， X_{it} 表示*i*地区在*t*年时系列控制变量。

2.3 “新基建”对碳全要素生产率的影响

2.3.1 “新基建”对碳全要素生产率的直接影响理论分析

(1) 新基建对碳全要素生产率的促进作用

新基建是碳减排的重要手段，是节能减排的重要技术路径。新基建是传统基建发展而来，代表先进生产力，能够有效推动经济社会创新、产业与消费升级和实现高质量发展，具有绿色、低碳、环保等特征。新基建对碳全要素生产率的影响主要体现在以下几个方面：

从城市管理看，新基建为城市数字化转型发展提供了动力源泉。大数据、人工智能等信息化设施植入城市的管理与建设中，不仅加快了城市信息化进程，也提高了城市智慧化的运营水平。通过大数据和数字技术对数据进行实时追踪和分析，提高了城市服务、管理与运营能力，提高了各个运行环节的运行效率，进而减少能源的消耗量，促进城市碳排放效率的提高。

从企业碳排放看，随着数字信息技术的推广与应用，数字信息技术对企业的发展起着重要作用，能够优化企业生产过程中碳排放治理技术，提高精确计算碳足迹的效率，进而为制定消费碳排放政策提供的一定的借鉴作用，减少核算数据

与企业自制数据之间的差距，促进生态环境部门合理分配企业的碳排放份额。利用数字技术分析企业能源利用情况，优化能源要素在企业生产过程中的有效配置效率，助力企业生产向低碳绿色发展方向迈进。

从能源利用上看，新基建能够转变传统的电力系统，构建具有信息化、数字化的新型电力系统，在大数据、5G 等的使用能够优化电网系统，提高电网数字通信水平，提高电力生产效率。此外，数字信息技术的使用促进了新能源的开发利用，加快可再生能源的推广应用，替代传统的高耗能能源的使用，从而优化能源的生产过程，加快能源消费结构的转型，降低碳排放水平。

（2）不同维度新基建对碳全要素生产率的影响

信息基础设施能够带动相关产品和服务的需求，通过信息化降低交易成本，提高生产和交易效率，进而推动经济增长。通过改善能源消耗结构、提高能源效率，从而提高碳全要素生产率。然而，信息基础设施较多取决于政府投资，不是完全由市场决定。其投入的程度与国家政策有很大关系，但是可能存在投资与市场实际需求存在偏差，从而不利于碳全要素生产率技术效率的提高。

新基建是以技术创新为驱动，创新基建为创新活动提供的便利条件，通过加大科研投入促进技术创新水平的提高，将科技创新成果转为实际生产力，创新基建通过加大科研投入促进技术创新水平的提高，将科技创新成果转为实际生产力。此外，创新基建能够使新技术生成，通过使用先进技术，改变传统高耗能技术，转化传统的能源消耗模式，促进能源的投入使用。从质和量两方面促碳全要素生产率的提高。

传统基建实现了人与物间的相互联系，为地区发展奠定了坚实基础。融合基建通过对传统基建进行数字化转型，提高了传统基础设施的生产效率及资源利用率。比如，智能交通基础设施建设能够优化交通系统，整合车辆制造、交通运输、服务控制技术，构建一个安全高效、节约减排的综合性智能运输系统。智慧能源基础设施通过建立系统、安全、清洁和经济要求的能源形式，实现绿色可持续发展的新能源模式。因此，本文提出如下假设：

假设 1：新基建对碳全要素生产率有显著的促进作用，信息基建、创新基建、融合基建均能够促进碳全要素生产率水平的提高。

(3) “新基建”发挥作用具有区域异质性

东部地区相对于中西部地区进行经济转型的时间较早,东部地区资源相对充裕,技术水平、人才资本水平较高,有充分转化发展方向的能力,能够通过改善经济发展和产业结构,寻求经济增长与生态环境治理的平衡点。在发展绿色经济与建设生态文明方面发展的较快。中西部地区市场化水平较低,投资环境不如东部地区,在产业发展中,西部地区由于长期人口流出导致服务业规模增长的较为缓慢,地区的资源禀赋、技术、人力结构使得其以资源型和低技术产业发展为主。整体发展水平较低,用于提高技术与治理碳排放的投资不足。西部地区自然资源丰富,对环境的承载能力较高,但是在促进经济增长的过程中,对环境污染的不利影响较大。因此,针对不同地区差异,对新型基础设施的投资效率及发挥的作用是不同的。故本文提出如下假设:

假设 2: 不同地区新基建对碳全要素生产率的影响存在差异。

2.3.2 “新基建”对碳全要素生产率影响的理论机制

基于现有文献,新基建对碳全要素生产率可能具有激励效应,并存在以下三种机制。

(1) 产业结构升级

新发展阶段,我国更加注重生产过程中的产出效率与环境效率,因此产业结构转型升级是现阶段的主要任务。信息技术的发展为产业结构升级提供了新的动能,通过数字化技术和传统产业模式相结合,鼓励数字化水平高的新兴产业和第三产业在经济中的份额。人工智能通过信息化手段,代替原有的技术附加值低的生产领域,倒逼微笑曲线中间的产业通过技术变革等方式调整产业结构,提高产品附加值,进一步提高产业的生产效率、研发效率促进传统产业升级。云网络整合通过创新和整合的理念形成区域比较优势,从而促进区域产业结构调整 and 升级。近年来,我国第三产业就业人数不断上升,劳动生产率水平较高。新基建的发展促进第三产业信息化水平和技术水平的提高,提高我国绿色创新水平。根据最优生产结构和供需原则,不同的产业结构,能源消耗强度和污染排放密度也不相同。产业结构升级具有更高的生态效率,推进我国产业结构绿色发展。

（2）技术创新

新基建的发展提高了信息化水平，促进创新成果的生成、传播和转化，使得信息传输成本与时间降低，更加便捷的促进了创新的传播、降低了创新成本，提高了创新效率。新基建的发展也需要重点技术、产品、装备补短板，促使技术创新不断生成并用于新基建。信息化技术的普及和应用促进了信息的流动，有益于企业及时发现市场对低碳技术和低碳产品的需求状态，也能够促使校企及科研单位之间更紧密的合作，增加企业的创新能力，加强企业的产学研合作水平，进而提升技术创新水平。在能源领域上，技术创新的投入使用能够促进清洁能源的开发利用，推进新能源的发展，助力消费结构由传统的能源消耗向新能源消耗转型，从而减少碳排放。此外，技术创新能够有效减少二氧化碳排放的治理成本，也为碳捕捉、封存技术研发提供支撑，提升碳排放绩效。

（3）资源配置效率

随着我国经济发展水平不断提高，资源消耗不断增加，而资源的利用效率是绿色转型的重要目标。首先，新型基础设施的发展，使得信息技术得到了普及和快速应用，促进了跨部门、时间、空间因素的流动。解决了阻碍生产因素流动的障碍，促进了资源整合，工艺优化，供应和需求匹配，促进各行业优化资源配置。其次，新基建能够让产业技术与互联网变现结合的能力，促进了互联网和大数据技术的发展，并提供了技术支持，优化了资源配置。利用科学技术挖掘数据的潜在价值将有助于突破传统的交易障碍，使得部门间交易资源要素在部门和行业之间的自由流动，从而缩短交易周期。环境效率低是由资源浪费和分配不合理造成的。资源配置效率的改善又说明了能源消耗的结构优化与调整，促使企业增加对技术创新的需求，不断进行转型升级，减少碳排放，提升碳生产效率。因此，本文提出如下假设：

假设 3：新基建能够通过产业结构升级、技术创新、资源配置效率优化三条路径促进碳全要素生产率的提高。

3 “新基建”与碳全要素生产率的测算

3.1 “新基建”的测算

3.1.1 指标选取与说明

根据前文对新基建内涵理解，宽口径角度下对新基建的概括更加具体广泛。因此，本文基于宽口径角度，使用不同基建的投资份额对新基建进行计算。由于目前国家统计局尚未统计信息基建、创新基建、融合基建的投资额，也没有具体衡量指标，故本文参考尚文思（2020）^[43]的研究方法，使用相似指标代替。将三种基建投资份额水平加总表示新基建综合发展水平。

具体地，信息基建(*fra1*)主要涉及新一代信息技术、软件服务等方面的投入，故采用“信息传输、软件和信息技术服务业”固定资产投资水平占全国固定资产投资比重表示。创新基建(*fra2*)主要涉及科技创新方面的投入，采用“科学研究和技术服务业”固定资产投资占全社会固定资产投资比重表示。融合基建(*fra3*)主要包含了传统基建的数字化转型，采用传统基建乘以传统基建与纯新基建的融合系数进行计算。其中，传统基础设施建设主要包括水利、环境和公共设施管理业，交通运输、仓储和邮政业，电力、热力、燃气及水的生产和供应业等三大产业，故使用三大产业固定资产投资占全社会固定资产投资比重表示。

融合基建是传统基建数字化转型的部分，融合系数体现在传统基建与纯新基建的相互融合的部分，反映了两者的协调发展水平。传统基建与纯新基建相互作用的本质，是基础设施建设持续从低级耦合向高级耦合的发展。传统基建与纯新基建的发展具有紧密的联系，纯新基建的发展引领传统基建进行数字化转型，而传统基建的广泛应用也会推动纯新基建的发展，同时为新基建的发展提供物质支持与环境保护，两种基建系统相互促进，从而形成了一种动态螺旋的耦合协调发展关系。

3.1.2 融合系数计算方法

在计算两者相互关系的模型中，耦合协调度能够度量事物间相互作用关系的

耦合协调程度。因此，使用新基建与传统基建的耦合协调系数表示新基建与传统基建的融合系数。具体的采用耦合协调模型计算耦合协调系数，再将耦合系数与传统基建相乘衡量融合基建水平。数据来源于《中国统计年鉴》、《中国固定资产投资统计年鉴》。

首先采用熵权法分别计算出纯新基建与传统基建的综合水平，再将计算出的结果带入耦合协调模型计算出两者的融合发展水平。具体如下：

(1) 归一化处理

使用熵权法对传统基建与纯新基建(信息基建与创新基建)计算综合指标时，首先需要对数据进行归一化处理，本文所选指标均为正向指标，归一化公式如下：

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (3.1)$$

(2) 计算指标的熵值 e_j ：

$$e_j = (1/m) \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, \quad p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (3.2)$$

(3) 计算指标的差异性系数 g_j ：

$$g_j = 1 - e_j \quad (3.3)$$

(4) 计算权重：

$$w_j = g_j / \sum_{j=1}^m g_j \quad (3.4)$$

(5) 计算综合得分：

$$Y_i = \sum_{j=1}^m w_j * r_{ij} \quad (3.5)$$

其中， r_{ij} 为 i 省 j 项指标进行归一化处理后的数据， x_{ij} 为 i 省 j 项指标， w_j 为 j 项指标的权重， Y_i 为 i 省基础设施建设水平指数。

根据上文，本文构建如下耦合模型，来分析新基建与传统基建两者之间的耦合协调度，公式为：

$$C = 2 \sqrt{\frac{U_1 * U_2}{(U_1 + U_2)^2}} \quad (3.6)$$

式(3.6)中, C 为新基建与传统基建的耦合度, U_1 和 U_2 分别代表熵权法算出的传统基建和新基建综合水平指数。由于耦合度只能衡量两者之间的相互关系的强度, 不能衡量两者的协调发展水平。使用修改和完善后的耦合协调模型计算两者的融合系数, 具体的计算公式为:

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 \quad (3.7)$$

$$D = \sqrt{C * T} \quad (3.8)$$

式(3.7)中, T 为新基建与传统基建的综合发展水平, α 和 β 分别为新基建与传统基建的待定系数, 由于新基建与传统基建相互补充、相互促进, 取 $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.5$, 式(3.8)中 D 为新基建与传统基建的耦合协调度。

3.1.3 现状分析

为了分析不同基建的发展状况, 本文绘制了创新基建、信息基建、传统基建的条形统计图, 如下图 3.1 所示。从各种基建相关行业在全国总体规模来看, 创新基建、信息基建与传统基建的开展存在较大差异, 其中信息基建、创新基建所占全社会固定资产投资比重相对较小, 传统基建的比重较大, 说明近年来我国传统基建的发展水平较快, 新基建作为新兴产业, 发展正处于初级阶段, 需要稳步推进。从增长趋势上看, 传统基建、创新基建、信息基建整体上都逐年增长, 其中传统基建增长速度高于其他类型基建。传统基建发展水平快速升高, 进行数字化转型的比例也会不断加大, 从而会促进融合基建的水平增长, 加快数字化转型的进度。

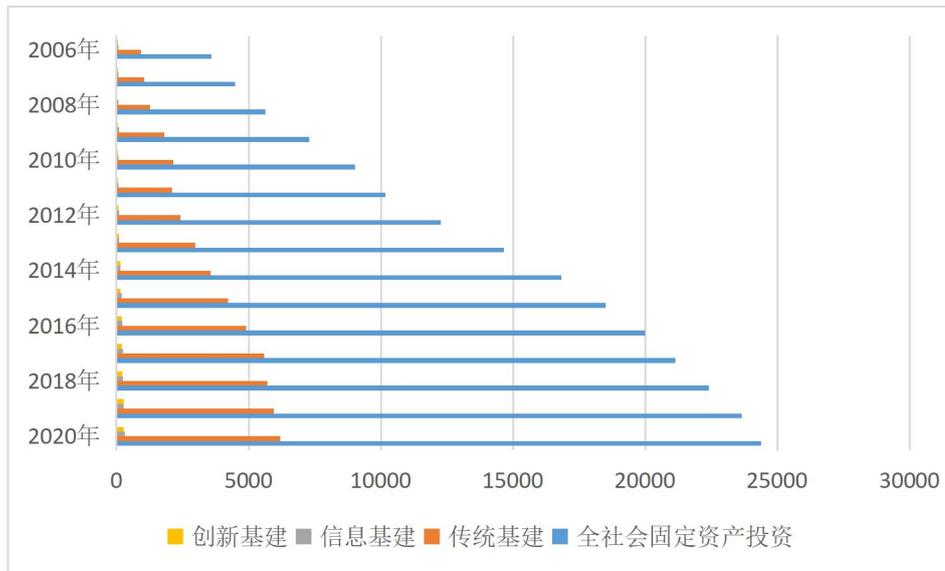


图 3.1 不同类型基建投资水平

3.2 碳全要素生产率的测算

3.2.1 测算方法

上文通过对比碳全要素生产率的测算方法，可知在考虑环境因素的影响下，参数方法的假设条件现实很难达到，计算结果容易存在偏误。非参数方法中，非期望—超效率 SBM 模型相较标准的非期望 SBM 模型，能够对效率值大于 1 的决策单元进行区分和评价。在生产率动态分析中，ML 指数可以用于计算考虑环境问题的绿色全要素生产率，但其只能计算短期生产率情况。全局 GML 指数是将研究期内各期的总和作生产决策单元的参考集，不仅可以对长期生产率变化进行测算及比较，并且能够避免可行域内无解的问题。因此使碳全要素生产率结果更加准确，本文使用包含非期望产出的超效率 SBM 模型结合全局 GML 指数对碳全要素生产率进行测算，参考余奕杉、卫平（2021）^[63]的研究，构造模型如下模型。

(1) 非期望产出一超效率 SBM 模型

首先，根据环境技术框架，确定一个包含非合意产出的生产可能性集，将历年每个省份作为一个决策单元来设定最优的生产技术前沿面。定义测度绿色经济效率的环境技术集合即生产可能性集为：

$$PPS = \{(X, \bar{Y}^g, \bar{Y}^b) | \bar{X} \geq \sum_{j=1}^L \lambda_j x_j, \bar{Y}^g \leq \sum_{j=1}^L \lambda_j y_j^g, \bar{Y}^b \geq \sum_{j=1}^L \lambda_j y_j^b, L \leq e\lambda \leq \mu, \lambda_j \geq 0\}$$

式中：有 m 种投入变量， s_1 种期望产出和 s_2 个非合意产出。 X 表示投入向量，满足 $X = (x_1, x_2, \dots, x_L) \in R_+^m$ ， Y^g 为期望产出，满足 $Y^g = (y_1^g, y_2^g, \dots, y_L^g) \in R_+^{s_1}$ 、 Y^b 为非合意产出，满足 $Y^b = (y_1^b, y_2^b, \dots, y_L^b) \in R_+^{s_2}$ ， λ 为指标权重向量， L 为样本数量。

其次，同时考虑“非期望产出”与“超效率”，构建包含非期望产出的超效率 SBM 模型。具体模型如下：

$$\rho = \min_{\lambda, \bar{x}, y^g, y^b} \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s^-}{x_{i_0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s^g}{y_{r_0}^g} + \sum_{k=1}^{s_2} \frac{s^b}{y_{k_0}^b} \right)}$$

$$s.t. \begin{cases} X \geq \sum_{j=1}^L \lambda_j x_j \\ \bar{Y}^g \leq \sum_{j=1}^L \lambda_j y_j^g \\ \bar{Y}^b \geq \sum_{j=1}^L \lambda_j y_j^b \\ \bar{X} \geq x_0, \bar{Y}^b \leq y_0^g, \bar{Y}^b \geq y_0^b \\ \bar{Y}^g \geq 0, \bar{Y}^b \geq 0, L \leq e\lambda \leq \mu, \lambda_j \geq 0 \end{cases}$$

式中： \bar{x}_i 、 \bar{y}_r^g 、 \bar{y}_k^b 表示决策单元投入产出的目标值，表示为：

$$\bar{x}_i = x_{i_0} - s^- \quad (i=1,2,3,\dots,m)$$

$$\bar{y}_r^g = y_{r_0}^g + s^g \quad (r=1,2,3,\dots,s_1)$$

$$\bar{y}_k^b = y_{k_0}^b - s^b \quad (k=1,2,3,\dots,s_2)$$

其中， s^- 、 s^g 、 s^b 为松弛变量，代表着投入过多、好的产出不足及造成的环境污染，而 x_{i_0} 、 $y_{r_0}^g$ 、 $y_{k_0}^b$ 则为相应的原始值。

(2) GML 生产率指数 (Global Malmquist Leunberger 指数)

GML 生产率指数值能够衡量全要素生产率由 t 期到 t+1 期间的变化情况,通过对 GML 值进一步分解为技术进步指数(TC)与技术效率变动指数(EC),溯源提高全要素生产率的主要方式。具体公式如下:

$$GML = \frac{E^g(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^g(x^t, y^t)} = \frac{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^t(x^t, y^t)} \left[\frac{E^g(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{E^t(x^t, y^t)}{E^g(x^t, y^t)} \right]$$

$$EC = \frac{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^t(x^t, y^t)}$$

$$TC = \frac{E^g(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{E^t(x^t, y^t)}{E^g(x^t, y^t)}$$

$$GML = EC * TC$$

在上文的 SBM 模型的基础上,借助 GML 模型,本文构造如下模型,用以衡量碳全要素生产率变动情况,公式为:

$$GML_0^{T, T+1} = \left[\frac{\rho_0^g(x_0^{T+1}, y_0^{g, T+1}, y_0^{b, T+1})}{\rho_0^{T+1}(x_0^{T+1}, y_0^{g, T+1}, b_0^{b, T+1})} * \frac{\rho_0^T(x_0^T, y_0^{g, T}, y_0^{b, T})}{\rho_0^g(x_0^T, y_0^{g, T}, y_0^{b, T})} \right] * \frac{\rho_0^{T+1}(x_0^{T+1}, y_0^{g, T+1}, y_0^{b, T+1})}{\rho_0^T(x_0^T, y_0^{g, T}, y_0^{b, T})}$$

$$= TC * EC$$

式中: $GML_0^{T, T+1}$ 表示某个省份在 T 到 T+1 时期内碳全要素生产率 (CTFP) 的变动情况。 $\rho_0^T(x_0^T, y_0^{g, T}, y_0^{b, T})$ 、 $\rho_0^{T+1}(x_0^{T+1}, y_0^{g, T+1}, y_0^{b, T+1})$ 分别表示某个省份分别在 T、T+1 时期的由 SBM 计算得到的效率值; $\rho_0^g(x_0^T, y_0^{g, T}, y_0^{b, T})$ 、 $\rho_0^g(x_0^{T+1}, y_0^{g, T+1}, y_0^{b, T+1})$ 是基于全局各期生产技术和 T、T+1 时期投入产出值的效率值。

$\frac{\rho_0^g(x_0^{T+1}, y_0^{g, T+1}, y_0^{b, T+1})}{\rho_0^{T+1}(x_0^{T+1}, y_0^{g, T+1}, y_0^{b, T+1})}$ 分别表示 T+1 时期的全局前沿效率值。 $\frac{\rho_0^T(x_0^T, y_0^{g, T}, y_0^{b, T})}{\rho_0^g(x_0^T, y_0^{g, T}, y_0^{b, T})}$ 反映了前沿 T 与全局前沿的接近程度。若, $GML_0^{T, T+1} = 1$, 表明 CTFP 在 T 到 T+1 时期没有发生变化; 若 $GML_0^{T, T+1} < 1$, 表明 CTFP 退步; 若 $GML_0^{T, T+1} > 1$, 表明 CTFP 提高。

3.2.2 指标选取

根据绿色经济理论与可持续发展理论,绿色经济是一种资源节约型和环境友好型的经济,强调低能耗、少污染、高赋值、生产方式集约的一种经济形态。绿色全要素生产率通过对早期的全要素生产率的改进,综合考虑了生产要素投入和能源资源消耗要素,从而将劳动、资本等生产要素和能源、资源消耗统一纳入到一个数学模型的新的测度方法,即在全要素生产率的基础上,引入了能源资源因素。因此,本文根据绿色经济等理论的思想,充分考虑环境问题基础上,采用非参数的方法测量碳全要素生产率,使用劳动、资本、能源作为投入变量,总产出作为期望产出变量,碳排放量作为非期望产出变量,对碳全要素生产率进行综合测算。

(1) 投入变量

选择劳动、资本、能源作为碳全要素生产率的投入变量。劳动投入,使用各省份总就业人数来表示。能源投入,使用能源消耗总量表示。资本投入,使用资本存量表示,借鉴参考张军(2003)^[66]的方法采用永续盘存法对其进行计算,计算公式为:

$$K_{it} = I_{it} / P_{it} + K_{it-1}(1 - \delta)$$

式中, K_{it} 为 i 省 t 期的资本存量, I_{it} 表示固定资产形成总额, P_{it} 表示固定资产形成价格指数, δ 为折旧率,参考张军的方法,折旧率取 9.6%。

根据现有数据,基期资本存量无法直接获得,故本文参考 Hall & Jones(1999)^[4]的方法,用期初固定资本形成总额占其每年平均增长率和折旧率之和的比值进

行计算,公式为: $K_0 = \frac{I_0}{g_i + \delta}$

其中, K_0 为期初资本存量, I_0 基期资本存量, g_i 为研究期内固定资本平均增长率。

(2) 产出变量

期望产出:经济总产出。使用地区生产总值表示,为消除价格影响,并以 2006 年为基期进行计算,得到实际 GDP。

非期望产出：二氧化碳排放量。能源消耗和水泥生产会产生大量二氧化碳，因此，基于各部门能源消耗与水泥生产过程中二氧化碳排放量之和衡量碳排放水平。

① 能源消耗产生 CO₂

根据 2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南提供的碳排放因子法对二氧化碳排放量进行核算，具体公式：

$$C_E = \sum Q_{ij} * \delta_{ij} = \sum Q_{ij} * NVC_{ij} * CC_{ij} * COF_{ij} * (44/12)$$

其中， C_E 能源消耗碳排放量， i 代表能源消耗类型， j 表示部门种类。 Q_i 为第 i 类能源实物消费量， δ_i 为第 i 类能源的二氧化碳排放系数， NVC 代表平均低热值， CC 表示碳排放系数， COF 代表碳氧化因子，44/12 表示消耗 1 单位碳产生的 CO₂量。如下表 3.1 所示：

表 3.1 各种能源消耗的碳排放系数

能源名称	$NVC_i(PJ/10^4t, 10^8 m^3)$	$CC_i(tC/TJ)$	COF_i	能源名称	$NVC_i(PJ/10^4t, 10^8 m^3)$	$CC_i(tC/TJ)$	COF_i
原煤	0.21	26.32	17.5%	原油	0.43	20.08	1.1%
精煤	0.26	26.32	10.8%	汽油	0.44	18.90	2.0%
其他洗煤	0.15	26.32	26.0%	煤油	0.44	19.60	1.2%
煤球	0.18	26.32	18.3%	柴油	0.43	20.20	1.3%
焦炭	0.28	31.38	3.4%	其他石油产品	0.51	17.20	3.9%
焦炉煤气	1.61	21.49	15.0%	液化石油气	0.47	20.00	7.7%
其他气体	0.83	21.49	33.4%	炼厂气	0.43	20.20	13.5%
其他焦化产品	0.28	27.45	23.1%	天然气	3.89	15.32	5.5%

资料来源：《2006 IPCC 国家温室气体清单指南》

② 水泥生产过程中产生的 CO₂

水泥生产过程中化学反应或物理反应转化时产生的温室气体排放，在城市二氧化碳排放中该部分占比比较高。估算水泥生产过程中二氧化碳排放，公式为：

$$C_P = \sum P_i \times \delta_i$$

式中, C_p 为工业过程碳排放量, δ_i 为碳排放系数, P_i 为水泥工业的产量, 根据中国科学院可持续发展战略研究组(2009)和中国省级温室气体清单编制指南提供的方法和相关系数, 水泥过程中二氧化碳排放系数为 0.376。

由于西藏数据缺失较多, 以上选取除西藏外 30 个省份的数据计算。主要源于 2006-2020 年《中国统计年鉴》、《中国固定资产投资统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》及各省份统计年鉴、CEDS 网站及 EPS 数据库。

3.2.3 碳全要素生产率的时空演变分析

(1) 总体差异分析

由非期望产出-超效率 SBM-GML 指数计算得到碳全要素生产率的变化率, 文章以 2006 年为基期, 效率值设为 1, 后续年份的效率值使用累乘方法计算, 用当期效率变化与之前各期效率变化值的乘积表示。由于篇幅有限, 针对文章所要研究的内容, 本文只列出 2006-2020 年各省份平均碳全要素生产率及分解指数, 结果如下表 3.2 所示:

表 3.2 中国各省份碳全要素生产率及分解项指数值

地区	CTFP	TC	EC	地区	CTFP	TC	EC
北京	1.6213	1.4916	1.0784	河南	1.0558	1.1861	0.8932
天津	1.0265	1.2963	0.8065	湖北	1.1077	1.1665	0.9526
河北	1.0408	1.2295	0.8498	湖南	1.0784	1.1275	0.9572
山西	1.2112	1.2722	0.9550	广东	0.9727	1.1285	0.8695
内蒙古	1.4047	1.3157	1.0661	广西	1.0507	1.2852	0.8252
辽宁	1.2861	1.3276	0.9733	海南	0.7826	1.1402	0.6997
吉林	1.1250	1.2579	0.8975	重庆	1.3400	1.2957	1.0286
黑龙江	0.9348	1.1668	0.8116	四川	1.1772	1.2170	0.9677
上海	1.5770	1.6114	0.9881	贵州	0.9398	0.9827	0.9578
江苏	1.2761	1.3338	0.9642	云南	0.7653	0.9893	0.7751
浙江	1.3165	1.3903	0.9520	陕西	0.9879	1.2169	0.8208
安徽	0.9876	1.1039	0.8983	甘肃	1.4080	1.2709	1.1010
福建	0.9371	1.1960	0.7929	青海	0.8068	1.1045	0.7422
江西	1.2239	1.3125	0.9355	宁夏	0.8999	1.1846	0.7724
山东	1.2344	1.2950	0.9541	新疆	0.8125	1.2181	0.6880

总体上看, 63%的省份碳全要素生产率水平得到提升, 上升幅度最大的为北京, 下降幅度最大的为云南。从 TC 变化情况上看, 93%的省份 TC 处于增长状

态。从 EC 变化情况上看,改进的省份占比仅为 13.3%,改进空间较大。整体上看,北京、内蒙古、重庆、甘肃 5 个省份实现经济绿色低碳发展的“双轮”驱动。贵州、云南等生产率水平下降,且技术进步与技术效率水平均不能对其产生影响。其余地区都属于技术进步“单驱”状态。说明技术进步是碳全要素生产率的主要驱动力,技术效率水平低是阻碍碳全要素生产率水平的主要问题的主要问题。同时反映出在既有的技术水平下,生产过程中对投入的资源远未达到高效的资源配置。绿色资源配置和组织管理能力水平滞后于碳全要素生产率的发展所需。技术效率和技术进步双重提升是碳全要素生产率的长期稳定增长的保障。因此需要进一步改善组织管理、资源配置水平。

(2) 时间变化趋势分析

基于时间角度下,分析碳全要素生产率及其分解指数在时间上的变化趋势,绘制折线如下图 3.2。

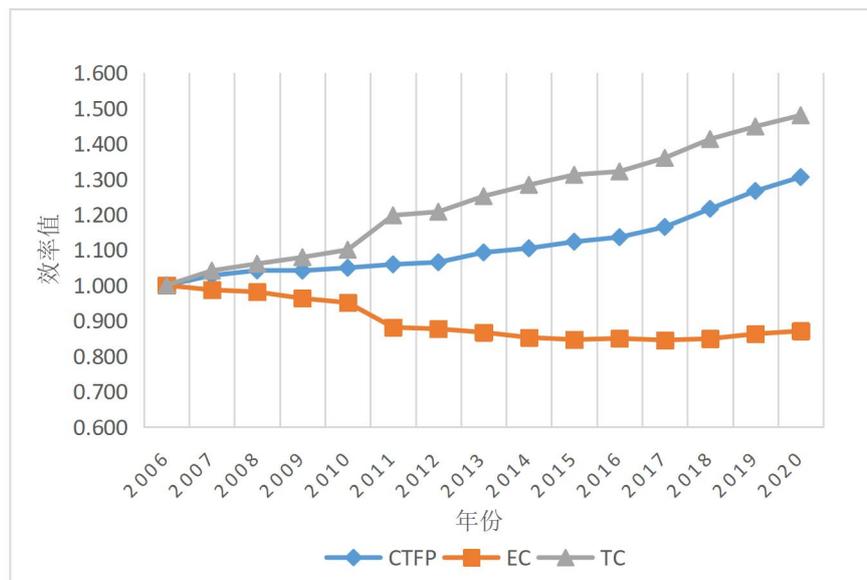


图 3.2 碳全要素生产率的水平变化情况

如上图 3.2 所示,CTFP 与 TC 在研究期内呈现逐年递增趋势,并且两者变化趋势大体相同。TC 的增长速度大于 CTFP 的增长速度,说明碳全要素生产率主要源于技术进步。其中,2006-2008 年,TC 呈现缓慢上升趋势,EC 为缓慢下降趋势。2010-2011 年 TC 的增长速度较大幅上升度,EC 呈现大幅度下降趋势,2011 年之后 TC 保持稳定上升趋势,EC 下降幅度得到缓解。CTFP 在研究期间

内处于稳定增长趋势。说明在既有的技术水平下，经济增长过程中所投入的资源未达到高效配置。进一步说明绿色经济技术进步对碳全要素生产率的“单驱”状态。

(3) 区域差异分析

从区域差异上看，如图 3.3 所示，中国总体及各地区碳全要素生产率均呈上升趋势，东部上升速度最快且大于总体水平，中部地区、西部地区碳全要素生产率均低于总体碳全要素生产率水平，中部地区与中西部地区差异较大。

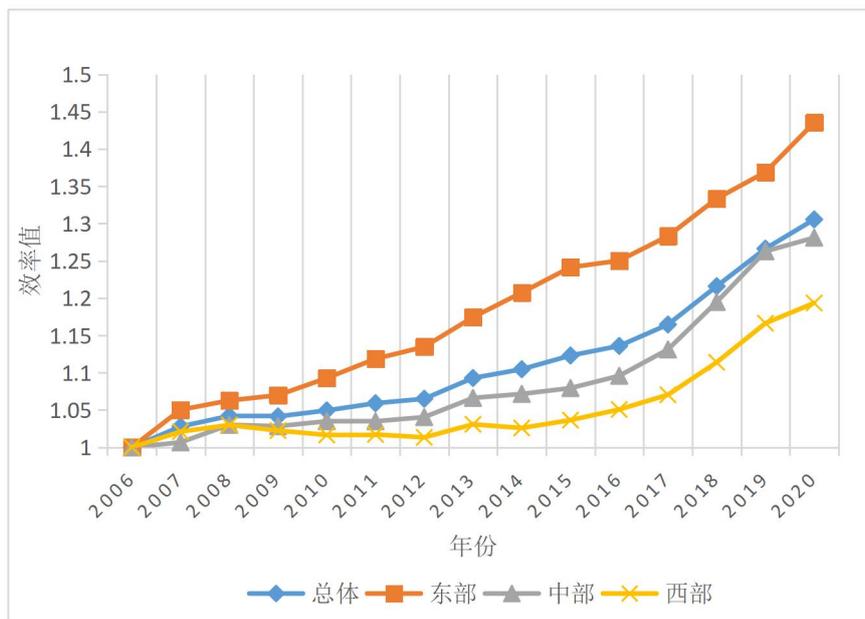


图 3.3 不同地区碳全要素生产率的变化趋势

上图 3.3 显示，2008 年碳全要素生产率水平增长较快，2008 年金融危机后，CTFP 增长速度平缓。其中，中部地区城市韧性较强，回弹速度较快。西部地区，CTFP 水平呈现下降趋势。2012 年后各地区碳全要素生产率增长速度变快，说明 2012 年“十八大”报告提出的进一步加强推进我国绿色生态建设的政策得到落实。2016 年以后碳全要素生产率增长率水平较大幅度提高。主要由于 2015 年巴黎气候大会召开后，我国政府加大对碳排放的管控力度并注重效率的提升，全国碳排放效率的均值明显上升。

(4) 差异变化趋势分析

本文借助三维核密度估计，进一步分析碳全要素生产率区域间差异变化趋势，绘出了 CTFP、TC、EC 的三维核密度图，如下图 3.3 所示：

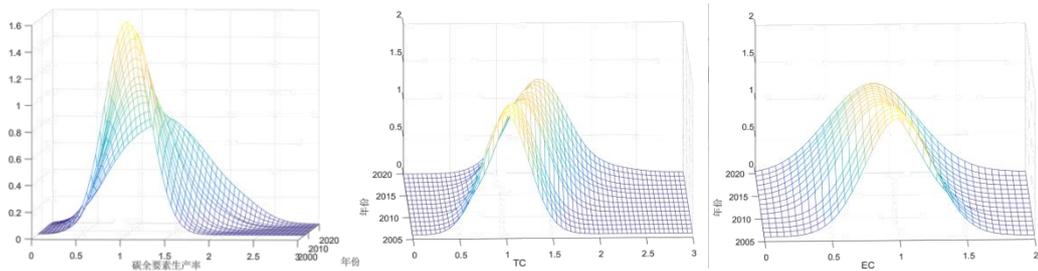


图 3.4 CTFP、TC、EC 的三维核密度估计图

由图 3.4 可知，2006-2020 年全国碳排放效率均值在 0-1.5 之间。从分布位置上看，CTFP 总体分布曲线中心呈现明显向右移动的趋势，意味着碳排放效率总体上表现为增大趋势，TC 相对于 CTFP 移动幅度更大，EC 向左小幅度移动，说明 EC 不断减小，TC 对 CTFP 起着显著拉动作用，与上文折线图结论一致。从分布形态来看，CTFP 主峰高度表现为明显的下降趋势，且宽度小幅度扩大，其绝对差异表现为逐年增大的发展趋势。此外，CTFP 分布曲线随着年份的增长出现了后拖尾现象，意味着存在碳全要素生产率很高的城市，并且会逐年拉大与平均水平的碳全要素生产率的差异。总体来说，中国省份碳全要素生产率呈现总体水平不断提高的过程中省份间 CTFP 的差距表现出不断增大的演变趋势。

由于本文以 2006 年为基期，通过绘制 2007、2013、2020 年三年碳全要素生产率热力图，进一步分析各地区碳全要素生产率变化情况，如图 3.5 所示：

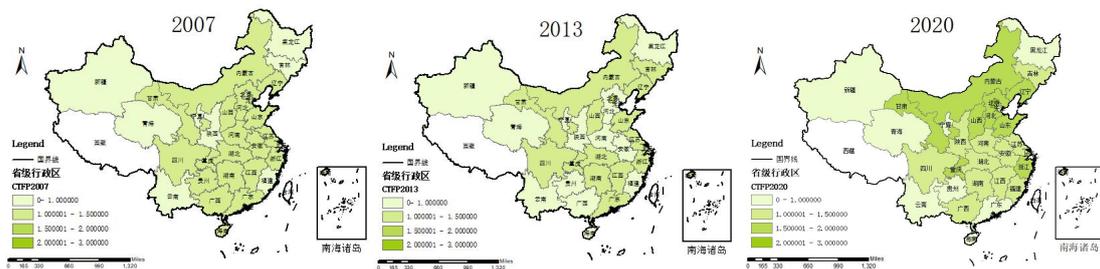


图 3.5 2007、2013、2020 年碳全要素生产率的空间分布图^①

总体上，相对于中部与东部，西部地区碳全要素生产率水平较低。2006-2007 年，多数省份碳全要素生产率均大于 1，碳全要素生产率处于有效增长状态。

^① 审图号：GS(2022)4039 号

2007-2013年，贵州、广西、河南、安徽等中西部地区生产率水平降低，北京、上海等东部地区的碳全要素生产率水平上升。2013-2020年，中部地区碳全要素生产率水平显著变大，西部地区基本不变，并且东部碳全要素生产率水平最高。2020年，碳全要素生产率水平较高的地方主要集中在东部地区，中西部地区碳全要素生产率水平相对较低。

4 “新基建”对碳全要素生产率的影响分析

4.1 “新基建”对碳全要素生产率的直接影响分析

4.1.1 模型设定、变量说明及数据来源

(1) 模型设定

为防止时间和地区因素对模型造成影响,本文使用双固定面板模型进行实证分析。模型中加入控制变量,结合上文理论分析与模型,设置如下计量模型:

$$\ln CTFP_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln fra_{it} + \beta_2 \ln open_{it} + \beta_3 \ln urb_{it} + \beta_4 \ln gov_{it} + \beta_5 \ln est_{it} + \mu_{it} + \varepsilon_{it}$$

式中, fra_{it} 为省份 i 在 t 年的新基建水平, $CTFP_{it}$ 为省份 i 在 t 年的碳全要素生产率, β_i 为常数项及各解释变量回归系数。 $open_{it}$ 、 urb_{it} 、 gov_{it} 、 est_{it} 为控制变量,分别表示为省份 i 在 t 年的对外开放水平、政府干预、城镇化水平、能源消耗结构,是影响全要素生产率的其他变量。 μ_{it} 为个体、时间双固定效应, ε_{it} 为随机误差项。

(2) 变量说明

被解释变量: 碳全要素生产率 ($CTFP$)。由非期望产出一超效率 SBM-GML 指数模型测算得到碳全要素生产率增长率,2006 年基期效率值设为 1,运用累乘法计算出其余各年效率值。

核心解释变量: 新基建 (fra)。使用信息基建、创新基建、融合基建三种基建的投资比重加总表示,由于新基建具有滞后性,对短期和中长期的影响不同,参考伍先福 (2020) [56] 的方法,选择滞后一期新基建表示。

控制变量: 通过对以往文献梳理发现,影响碳全要素生产率的因素主要有政府干预、对外开放水平、能源消耗结构、城镇化水平等,为避免遗漏变量对本文模型造成影响,因此本文将这几个变量作为控制变量。政府干预 (gov), 政府与市场的关系是促进经济绿色发展的因素,政府的适当干预能够保证市场的高效运转、推进经济的快速增长,加快全要素生产率的提高,政府干预过度会导致要素市场效率低下,造成大量的资源浪费,对碳生产率水平的提高产生不利影响。

本文使用地方财政支出占 GDP 的比重来衡量政府干预程度；对外开放程度（*open*），地区对外开放水平会对当地的经济与环境产生影响。开放水平越高，外商投资水平越高，吸引前沿技术的可能越大，但是也会使得国外高污染产业也会流入国内，因此，会对经济环境产生不确定的影响。本文以各省实际利用外商投资总额衡量各省份的对外开放水平；能源消耗结构（*est*），能源消耗是经济正常运转的物质需求，煤炭消耗是碳排放的主要来源。使用煤炭消耗占能源消耗总量的比重表示，煤炭消耗比重越高碳排放水平越高，反之越少；城镇化（*urb*），城镇化水平能够加快商品的流通速度促进经济水平的提高，也会加快资源利用，使得二氧化碳排放水平提高，本文采用各省城镇人口占地区总人口的比值来表示城镇化水平。

（3）数据来源

《2006-2020 年国家信息化发展战略》提出要大力推进信息化进程，本文采用 2006-2020 年的统计数据进行分析。各指标数据主要来源于 2006~2020 年《中国统计年鉴》、《中国工业统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》、《中国人口统计年鉴》、各省的统计年鉴、国家统计局官网、对外贸易数据库、CEADs 数据库、EPS 数据库等。并对以上变量均取对数处理。

4.1.2 实证结果分析

为进一步验证新基建对碳全要素生产率的影响及作用路径，本文通过实证模型进一步分析。下表 4.1 分别给出了新基建与传统基建对碳全要素生产率的影响的回归结果。其中，第（1）列、第（2）列与第（3）列为新基建对碳全要素生产率及其分解指数影响的回归结果。第（4）列、第（5）列与第（6）列为传统基建对碳全要素生产率及其分解指数影响的回归结果。结果显示新基建对碳全要素生产率有显著的促进作用，并且技术进步及技术效率均对碳全要素生产率的提高起到了驱动作用。而传统基建对碳全要素生产率的影响不显著，并且对碳全要素生产率的技术进步与规模效应均没有显著的影响。

表 4.1 新基建对碳全要素生产率的影响回归结果

变量	(1) <i>lnCTFP</i>	(2) <i>lnTC</i>	(3) <i>lnEC</i>	(4) <i>lnCTFP</i>	(5) <i>lnTC</i>	(6) <i>lnEC</i>
<i>lnfra</i>	0.058*** (0.013)	0.022*** (0.004)	0.036** (0.013)	— —	— —	— —
<i>lntra</i>	— —	— —	— —	0.018 (0.041)	0.002 (0.022)	0.016 (0.023)
<i>lnest</i>	-0.133*** (0.043)	-0.030 (0.022)	-0.103*** (0.022)	-0.136*** (0.044)	-0.032 (0.023)	-0.104*** (0.023)
<i>lnopen</i>	0.030*** (0.007)	0.003 (0.002)	0.027*** (0.006)	0.029*** (0.007)	0.003 (0.003)	0.026*** (0.006)
<i>lngov</i>	-0.238** (0.106)	-0.080*** (0.017)	-0.158 (0.098)	-0.215* (0.118)	-0.072*** (0.020)	-0.144 (0.107)
<i>lnurb</i>	-0.522*** (0.072)	-0.616*** (0.032)	0.093 (0.082)	-0.557*** (0.069)	-0.627*** (0.026)	0.070 (0.079)
<i>cons</i>	2.859*** (0.701)	2.609*** (0.132)	0.249 (0.648)	3.049*** (0.830)	2.692*** (0.188)	0.357 (0.702)
个体	Y	Y	Y	Y	Y	Y
时间	Y	Y	Y	Y	Y	Y
N	450	450	450	450	450	450
<i>R</i> ²	0.351	0.878	0.442	0.339	0.876	0.436

注：上角标 *、**、*** 分别表示在 10%、5%、1%显著性水平上显著，（）内为标准误。下同。

由上表可知，新基建对碳全要素生产率的影响在 1%的显著性水平下为正，回归系数为 0.058。新基建对技术进步与技术效率的影响系数分别为 0.022、0.036，均通过 5%显著水平检验。表明新基建每提高 1%，碳全要素生产率水平提高 0.058%，技术进步提高 0.022%，技术效率水平提高 0.036%。因此，新基建能直接对碳全要素生产率产生影响，即提高技术进步又提高了技术效率，双重驱动碳全要素生产率水平的提高，并且对技术进步的影响较大。进一步说明新基建本身具有的信息化、智能化等属性，能够优化并提高生产、生活及环保方面的技术水平，在推动碳全要素生产率技术进步起到重要作用。此外，新基建具有规模效应，能够减少基础设施建设的成本，提高生产效率，减少污染排放，促进了碳全要素生产率在技术效率水平上的提高。而传统基建对碳全要素生产率的影响不显著，且影响系数较小。由于传统基建主要用于高耗能行业，其投入使用过程中能源消耗较大。传统基建以资本要素为主要支撑，对能源依赖性较大，绿色新能源所占比重相对较少，从而对碳全要素生产率的影响不显著。从而证明了假设 1 中的新

基建能够促进碳全要素生产率的提高的假设。

控制变量上来看,城镇化水平对碳全要素生产率的回归系数为-0.522,在1%显著性水平上显著,表明城镇化水平每提高1%,碳全要素生产率水平会减少0.522%。虽然城镇化水平会加速商品流动等,带来经济效益。但是也会使得工厂数目增加,在增加经济收益的同时带来大量的污染。当污染效应超过经济效应,不利于碳全要素生产率的提高。外商直接投资对碳全要素生产率的影响显著为正,系数为0.030,说明外商直接投资每提高1%,会使得碳全要素生产率提高0.030%。进一步说明外商直接投资带来了知识、技术溢出效应与先进的管理技术大于其对环境负效应。政府干预对碳全要素生产率的影响为负不显著,这与政府支出结构有关,当政府支出较多的投入到高碳排放的工业部门,在环境保护等方面的支出相对较小,会导致碳排放水平较高,不利于碳全要素生产率的提高。能源消耗结构与碳全要素生产率的关系显著为负系数为-0.133,说明煤炭消耗结构每提高1%,碳全要素生产率水平减少0.133%。由于目前我国工业部门对能源依赖较大,能源消耗比重较大,煤炭消耗是碳排放的主要来源,其占比越高导致碳排放水平较高,不利于碳全要素生产率的提高。

4.1.3 进一步分析

(1) 三种基建对碳全要素生产率的影响

根据上文理论得出,信息基建、创新基建、融合基建均能促进碳全要素生产率水平的提高。为分别探究不同类型基建对碳全要素生产率的作用强度,分别将信息基建、创新基建、融合基建三种基建纳入模型进行回归,回归结果如下表

4.2 所示:

表 4.2 不同基建对碳全要素生产率的回归结果

变量	(1) <i>lnCTFP</i>	(2) <i>lnCTFP</i>	(3) <i>lnCTFP</i>
<i>lnfra1</i>	0.032** (0.014)	—	—
<i>lnfra2</i>	—	0.041*** (0.010)	—
<i>lnfra3</i>	—	—	0.042*** (0.012)

续表 4.2 不同基建对碳全要素生产率的回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	<i>lnCTFP</i>	<i>lnCTFP</i>	<i>lnCTFP</i>
<i>lnest</i>	-0.134*** (0.041)	-0.151*** (0.041)	-0.134*** (0.043)
<i>lnopen</i>	0.033*** (0.007)	0.024** (0.009)	0.029*** (0.007)
<i>lngov</i>	-0.217* (0.110)	-0.226* (0.108)	-0.234* (0.109)
<i>lnurb</i>	-0.519*** (0.063)	-0.472*** (0.066)	-0.536*** (0.072)
<i>cons</i>	3.068*** (0.654)	3.116*** (0.686)	3.150*** (0.679)
个体	Y	Y	Y
时间	Y	Y	Y
<i>N</i>	450	450	450
<i>R</i> ²	0.351	0.356	0.346

由表 4.2 可知，信息基建在 1%的水平下对碳全要素生产率均有显著正向影响，回归系数为 0.032，信息基建提高 1%，碳全要素生产率生产率提高 0.032%。创新基建对碳全要素生产率及其分解在 1%的显著性水平下均有显著的影响，创新基建每提高 1%，会使得碳全要素生产率提高 0.041%。融合基建对碳全要素生产率及其分解在 1%的显著性水平下均有显著的影响，融合基建每提高 1%，会使得碳全要素生产率提高 0.042%。说明信息基建、创新基建、融合基建能够解决交易成本，提高生产和交易效率，进而推动经济增长。能够改善能源消耗结构、提高能源效率，从而提高碳全要素生产率。控制变量对碳生产率的影响与基本回归结果一致，城镇化水平、政府干预、能源消耗结构不利于碳全要素生产率的提高，对外开放水平显著促进碳全要素生产率的提高。

上述结果证明了假设 1 中的信息基建、创新基建、融合基建均能促进碳生产率水平提高的假设。

(2) 三种基建对碳全要素生产率影响的来源

为探究信息基建、创新基建、融合基建对碳全要素生产率的影响的动力来源，本文分别研究了这三种基建对碳全要素生产率技术进步与技术效率的影响，回归结果如下表 4.3 所示：

表 4.3 不同基建对碳全要素生产率分解指数的回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
变量	<i>lnTC</i>	<i>lnEC</i>	<i>lnTC</i>	<i>lnEC</i>	<i>lnTC</i>	<i>lnEC</i>
<i>lnfra1</i>	0.017** (0.006)	0.016 (0.010)	— —	— —	— —	— —
<i>lnfra2</i>	— —	— —	0.008*** (0.003)	0.032*** (0.010)	— —	— —
<i>lnfra3</i>	— —	— —	— —	— —	0.016*** (0.004)	0.026** (0.011)
<i>lnest</i>	-0.030 (0.022)	-0.103*** (0.021)	-0.035 (0.022)	-0.116*** (0.020)	-0.031 (0.023)	-0.103*** (0.022)
<i>lnopen</i>	0.005* (0.002)	0.028*** (0.006)	0.002 (0.003)	0.022*** (0.007)	0.003 (0.003)	0.026*** (0.006)
<i>lngov</i>	-0.073*** (0.017)	-0.144 (0.103)	-0.074*** (0.018)	-0.152 (0.099)	-0.079*** (0.018)	-0.155 (0.100)
<i>lnurb</i>	-0.610*** (0.032)	0.091 (0.082)	-0.610*** (0.027)	0.138 (0.083)	-0.621*** (0.031)	0.085 (0.081)
<i>cons</i>	2.685*** (0.103)	0.382 (0.623)	2.702*** (0.133)	0.414 (0.609)	2.720*** (0.132)	0.431 (0.611)
个体	Y	Y	Y	Y	Y	Y
时间	Y	Y	Y	Y	Y	Y
<i>N</i>	450	450	450	450	450	450
<i>R</i> ²	0.880	0.440	0.877	0.450	0.877	0.440

由表 4.3 所示，信息基建对碳全要素生产率的技术进步影响 5%的置信水平下显著，系数为 0.017，对技术效率的影响不显著。信息基建提高 1%，碳全要素生产率提高 0.032%，其中技术进步提高 0.017%。然而，由于信息基建投入建设所需的时间较长、需要大量的资金支持，可能存在部分地区覆盖率不高，因此会对碳生产技术效率影响不显著。创新基建对碳全要素生产率的技术进步与技术效率 1%的显著性水平下均有显著的影响，创新基建每提高 1%，技术进步提高 0.008%，技术效率提高 0.032%。创新基建通过加大科研投入促进技术创新水平的提高，将科技创新成果转为实际生产力。通过转化传统的能源消耗模式，促进能源的投入使用，从质和量两方面促进碳全要素生产率的提高。融合基建对碳全要素生产率的影响在 5%的显著性水平上显著，融合基建每提高 1%，碳全要素生产率技术进步提高 0.016%，技术效率提高 0.026%。融合基建提高了传统基础设施的生产效率及资源利用率，从而促进了碳全要素生产率的提高。

4.1.4 异质性分析

(1) 不同区域新基建对碳全要素生产率的影响

考虑地区经济发展水平、地理条件等方面存在差异，会造成新基建发展及其对碳全要素生产率的影响存在空间异质性，因此根据国家行政区划文件^①，本文将除西藏外 30 个省份样本分为东部、中部和西部地区，采用分组回归法予以考察。回归结果如下表 4.4 所示：

表 4.4 区域异质性分析回归结果

变量	东部	中部	西部
	<i>lnCTFP</i>	<i>lnCTFP</i>	<i>lnCTFP</i>
<i>lnfra</i>	0.164** (0.058)	-0.014 (0.032)	-0.034 (0.043)
<i>lnest</i>	-0.093* (0.048)	-0.116* (0.060)	-0.313** (0.115)
<i>lnopen</i>	0.062** (0.022)	0.007 (0.029)	0.041** (0.018)
<i>lngov</i>	-0.634** (0.254)	0.011 (0.162)	-0.087 (0.162)
<i>lnurb</i>	-0.607** (0.253)	-0.041 (0.157)	-1.145*** (0.224)
<i>cons</i>	3.600*** (0.791)	0.601 (1.320)	5.607*** (0.935)
个体	Y	Y	Y
时间	Y	Y	Y
<i>N</i>	165	120	165
<i>R</i> ²	0.509	0.685	0.177

表 4.4 回归结果显示，东部地区新基建能够促进碳全要素生产率。在 5% 的置信水平下显著，影响系数为 0.164。说明新基建每提高 1%，会使东部碳全要素生产率提高 0.164%。东部地区创新和科技发展水平较高，新型基础设施建设普及率较高，5G 基站信号覆盖率广、工业互联网高速运转，人工智能和大数据中心等应用广泛，特高压、新能源、信息建设水平较高，新基建在质和量上高于全国平

^① 东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南 11 个省（市）；中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南 8 个省份；西部地区包括广西、四川、贵州、云南、内蒙古、重庆、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、西藏 12 个省（区）

均水平。

中部地区与西部地区新基建对碳全要素的回归系数分别为-0.014、-0.034。回归不显著且系数为负数。主要是由于中部地区和西部地区高能耗传统基础设施建设水平较高，新基建发展水平较低，并且新基建发展可能存在低效率的情况，此外，中西部地区第二产业所占的比重较大，对能源的依赖较强，碳排放水平相应较高，从而抵消其对环境改善的积极作用，使得新基建对经济增长带来正向影响小于其对资源环境带来的负面影响。

(2) 不同区域新基建对碳全要素生产率影响的来源

不同区域的新基建发展水平及碳全要素生产率水平存在差异，上文验证了不同区域新基建对碳全要素生产率的影响存在差异，为进一步探究影响不同区域新基建作用于碳全要素生产率的动力，本文分别就不同区域新基建对碳全要素生产率的技术进步与技术效率进行回归，回归结果如下表 4.5：

表 4.5 不同区域新基建对碳全要素生产率影响的来源回归结果

变量	东部		中部		西部	
	<i>lnTC</i>	<i>lnEC</i>	<i>lnTC</i>	<i>lnEC</i>	<i>lnTC</i>	<i>lnEC</i>
<i>lnfra</i>	0.019* (0.011)	0.145*** (0.048)	-0.017 (0.017)	0.003 (0.027)	0.022 (0.013)	-0.056 (0.036)
<i>lnest</i>	-0.001 (0.026)	-0.092*** (0.029)	-0.017 (0.035)	-0.099** (0.044)	-0.046 (0.029)	-0.267** (0.096)
<i>lnopen</i>	0.056*** (0.008)	0.006 (0.016)	-0.002 (0.014)	0.009 (0.017)	0.013 (0.010)	0.028** (0.012)
<i>lngov</i>	-0.403*** (0.090)	-0.231 (0.188)	0.139* (0.066)	-0.127 (0.122)	0.052 (0.053)	-0.138 (0.123)
<i>lnurb</i>	-0.614*** (0.132)	0.007 (0.187)	-0.135** (0.054)	0.094 (0.178)	-0.928*** (0.163)	-0.216 (0.268)
<i>cons</i>	3.130*** (0.309)	0.470 (0.757)	0.249 (0.318)	0.352 (1.195)	3.261*** (0.579)	2.345** (1.085)
个体	Y	Y	Y	Y	Y	Y
时间	Y	Y	Y	Y	Y	Y
<i>N</i>	165	165	120	120	165	165
<i>R</i> ²	0.883	0.538	0.952	0.690	0.895	0.451

由上表 4.5 所示，东部地区新基建对技术进步和技术效率的回归结果分别在 10%、1% 的显著性水平下显著，回归系数分别为 0.019、0.145，说明新基建每提高 1%，技术进步提高 0.019%、技术效率提高 0.145%，碳全要素生产率提高 0.164%，

与上文回归结果一致,并且技术效率的系数大于技术进步的回归系数。可以得出,东部地区新基建对碳全要素生产率的促进作用较多的源于提高了技术效率水平,对技术进步的作用较小。东部地区市场化水平较高,要素流动较快,新基建出现规模效应,使其影响高于其他地区。新基建的推广与应用为工业发达的东部地区提供了更清洁、更绿色的生产技术,并帮助企业优化生产、运营和销售流程。

中部地区和西部地区新基建对碳全要素生产率的技术进步及技术效率均无显著影响。由于中部地区和西部地区市场发展水平有限,信息赋能的减排效果无法达到最大化,这可能造成由新基建产生的减排效果被传统基建消耗的资源所抵消的情况。因此,新基建在中西部地区对碳全要素生产率的作用并不显著。

以上结论证明了假设2:不同地区新基建对碳全要素生产率的影响存在差异。

时间异质性分析

4.2 “新基建”对碳全要素生产率影响的传导机制分析

4.2.1 模型设定、变量说明及数据来源

(1) 模型设定

对以往文献梳理及影响理论机制的阐述,从理论分析了产业结构、技术创新、资源配置效率在新基建对碳全要素生产率影响中的机制作用。为检验实现这种机制的途径及验证理论分析得到的传导机制是否合理。本文运用双固定模型通过实证分析对中介变量进一步检验。设定以下中介模型:

$$\ln CTFP_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln M_{it} + \alpha_1 \ln fra_{it} + \alpha_2 \ln control_{it} + \mu_{it} + \varepsilon_{it}$$

$$\ln M_{it} = \delta_0 + \delta_1 \ln fra_{it} + \delta_2 \ln control_{it} + \mu_{it} + \varepsilon_{it}$$

式中,下标*i*表示地区,*t*表示年份。 $CTFP_{it}$ 为碳全要素生产率, fra_{it} 为省份*i*在*t*年的新基建水平, ε_{it} 为随机误差项, μ_{it} 为个体、时间双固定效应。 M_{it} 为中介变量,分别选取产业结构升级、技术创新、资源配置效率作为中介变量。 $control_{it}$ 为一组控制变量,分别包括对外开放水平、政府干预、城镇化水平、能源消耗结构。

(2) 中介变量说明

上文通过对以往文献梳理及影响理论机制的阐述，从理论分析了产业结构、技术创新、资源配置效率在新基建对碳全要素生产率影响中的机制作用。本文通过构建中介模型进一步验证。

产业结构升级(*str*)，使用第二产业增加值占第三产业增加值比重表示。技术创新(*tec*)，技术市场成交额在一定程度上反映了技术创新的成果化，能够衡量技术创新水平，本文使用技术市场成交额占 GDP 的比重衡量技术创新水平。资源配置效率(*sap*)。资源错配指数能够衡量资源配置效率，当资源错配指数小于 0，说明资源配置不足，大于 0 说明资源配置过度，因此绝对值越大，资源配置水平越差。参考季书涵等(2016)^[27]、周晓辉(2021)^[73]的研究，使用资源错配指数衡量。资本错配的绝对值计算公式为：

$$\gamma_{K_i} = \frac{1}{1 + \tau_{K_i}}$$

$$\gamma_{K_i} = \frac{K_i}{K} \bigg/ \frac{S_i \beta_{K_i}}{\beta_K}$$

其中， K_i / K 为 i 省份实际资本占资本总量的比例， $S_i \beta_{K_i} / \beta_K$ 则表示 i 省份的资本处于有效配置时的比例。 τ_{K_i} 为弹性系数，参考辛永容等(2009)^[59]的研究，取值 0.56。

4.2.2 实证结果分析

(1) 产业结构升级

将产业升级作为中介变量纳入模型，进行检验。为了得出产业机构通过哪种方式促进碳全要素生产率的提高，本文分别检验了产业结构对碳全要素生产率、技术进步及技术效率的影响。回归结果如表 4.6 所示：

表 4.6 产业结构升级作用机制的回归结果

变量	(1) <i>lnCTFP</i>	(2) <i>lnTC</i>	(3) <i>lnEC</i>	(4) <i>lnstr</i>
<i>lnfra</i>	0.045*** (0.013)	0.017*** (0.004)	0.028** (0.012)	0.091*** (0.018)
<i>lnstr</i>	0.135*** (0.039)	0.054*** (0.018)	0.081 (0.047)	—
<i>lnest</i>	-0.143*** (0.041)	-0.034 (0.023)	-0.109*** (0.020)	0.071*** (0.016)
<i>lnopen</i>	0.033*** (0.008)	0.004* (0.002)	0.029*** (0.007)	-0.023** (0.009)
<i>lngov</i>	-0.267** (0.101)	-0.092*** (0.019)	-0.175* (0.091)	0.213** (0.076)
<i>lnurb</i>	-0.437*** (0.079)	-0.581*** (0.040)	0.144 (0.098)	-0.635*** (0.121)
<i>cons</i>	2.695*** (0.685)	2.543*** (0.118)	0.152 (0.663)	1.213** (0.479)
个体	Y	Y	Y	Y
时间	Y	Y	Y	Y
<i>N</i>	450	450	450	450

表 4.6 回归结果显示，新基建对产业结构升级在 1% 的显著水平下均有正向影响，系数为 0.091，说明新基建每提高 1%，会使得产业结构提高 0.091%，并且，产业结构升级对碳全要素生产率在 1% 的显著性水平上系数为 0.135，产业结构升级提高 1%，碳全要素生产率水平提高 0.135%。说明新基建能够通过产业结构升级促进碳全要素生产率的提高，起到了部分中介作用。并且该中介效应主要取决于碳全要素生产率的技术进步。

新基建在生产来源上的服务业投入比重相对更高。其所需的技术研发创新及金融和商业服务业均来自第三产业，实体经济产业在信息技术的推动下，不断优化升级。信息技术作为一种重要的生产要素，使能够使生产关系发生变化，并加强各要素之间的协同作用，加快了产业升级的速度。在智能化的作用下，产业分工的成本不断降低，产业内的生产效率、管理效率不断提高，传统产业技术升级的速度也不断升高，从而更为显著地提升了产业结构升级。产业的不断优化和升级使得各生产要素流向成长性高的行业，进而通过提升经济效率使得全要素生产率水平不断提高。此外，产业升级能优化生产工艺，节约能源投入改善资源利用

效率，能源消耗结构，并降低污染排放，从而提高碳全要素生产率的技术进步水平。

(2) 技术创新

为验证技术创新的作用机制，将技术创新纳入模型，进行回归，回归结果如表 4.7 所示：

表 4.7 技术创新的作用机制回归结果

变量	(1) <i>lnCTFP</i>	(2) <i>lnTC</i>	(3) <i>lnEC</i>	(4) <i>Intec</i>
<i>lnfra</i>	0.056*** (0.013)	0.023*** (0.004)	0.034** (0.013)	0.109** (0.050)
<i>Intec</i>	0.012* (0.006)	-0.007* (0.004)	0.019*** (0.004)	— —
<i>lnest</i>	-0.134*** (0.042)	-0.030 (0.023)	-0.104*** (0.021)	0.049 (0.054)
<i>lnopen</i>	0.027*** (0.007)	0.004 (0.003)	0.023*** (0.006)	0.187 (0.126)
<i>lngov</i>	-0.244** (0.101)	-0.076*** (0.019)	-0.168* (0.090)	0.551 (0.544)
<i>lnurb</i>	-0.549*** (0.081)	-0.601*** (0.037)	0.052 (0.093)	2.204*** (0.527)
<i>cons</i>	3.061*** (0.716)	2.492*** (0.140)	0.568 (0.671)	-17.071*** (1.803)
个体	Y	Y	Y	Y
时间	Y	Y	Y	Y
<i>N</i>	450	450	450	450

表 4.7 回归结果显示，新基建对技术创新的影响在 1% 的显著性水平上为正，技术创新对碳全要素生产率、技术效率的影响在 1% 的显著性水平上均显著为正，说明技术创新起到了部分中介效应。新型基础设施投资建设需要先进的技术，其投入建设与使用，会提高技术市场成交额，从而会激励技术水平的提高，提高技术创新水平。此外，新基建较传统基建具有数字化、信息化、智能化等特征，能够降低创新成本、提高创新传播及运用效率。技术创新能够加快清洁技术的开发，使得资源利用效率和优化能源消耗。从节能和减排两方面提高碳全要素生产率的技术效率水平。

(3) 资源配置效率

将资源配置效率纳入模型，进一步验证资源配置的中介作用。由于本文使用资本错配比例衡量资源配置效率。因此，回归系数为负，则表示资源配置效率提高。回归结果如表 4.8 所示：

表 4.8 资源配置效率作用机制的回归结果

变量	(1) <i>lnCTFP</i>	(2) <i>lnTC</i>	(3) <i>lnEC</i>	(4) <i>lnsap</i>
<i>lnfra</i>	0.053*** (0.014)	0.023*** (0.004)	0.030** (0.013)	-0.312** (0.106)
<i>lnsap</i>	-0.016** (0.006)	0.002 (0.006)	-0.018*** (0.004)	— —
<i>lnest</i>	-0.132*** (0.039)	-0.031 (0.023)	-0.101*** (0.019)	0.078 (0.225)
<i>lnopen</i>	0.027*** (0.006)	0.003 (0.003)	0.024*** (0.005)	-0.152** (0.062)
<i>lngov</i>	-0.225** (0.103)	-0.082*** (0.016)	-0.143 (0.097)	0.792*** (0.232)
<i>lnurb</i>	-0.524*** (0.069)	-0.615*** (0.032)	0.092 (0.078)	-0.091 (0.394)
<i>cons</i>	2.820*** (0.659)	2.615*** (0.134)	0.205 (0.608)	-2.457 (2.461)
个体	Y	Y	Y	Y
时间	Y	Y	Y	Y
<i>N</i>	450	450	450	450

表 4.8 回归结果显示，新基建对资本配置扭曲影响在 5%显著性水平下显著为负数。资本错配对碳全要素生产率及技术效率的影响在 5%的显著性水平下为负数，对技术进步的影响不显著。说明资本配置起到了部分的中介作用，新基建能够促进资本配置效率的提高从而促进碳全要素生产率的提高，主要作用于技术效率。由于新基建的普及为优化资本、人力、能源、交通等资源的合理配置创造了良好的环境，有效减少了能源成本。资本配置是资本市场健康稳定发展的关键着力点，亦是长久发展的重要保障，其配置是否有效直接影响我国企业成长发展，进而作用于我国经济的发展与增长的可持续性。

以上机制回归结果证明了假设 3：新基建能够通过产业结构升级、技术创新、

资源配置效率优化三条路径促进碳全要素生产率的提高。

4.3 稳健性与内生性检验

4.3.1 稳健性检验

上述结果表明，新基建对碳生产率的提高有着明显。为了增强研究结果的准确性，从替换变量与剔除部分样本两方面进行稳健性检验。

(1) 剔除部分样本

考虑到直辖市与其他省份间新基建发展水平及其对碳全要素生产率的影响会存在差异。因此，剔除北京、上海、天津、重庆 4 个直辖市样本，对模型进行回归，检验模型的稳健性，回归结果如下表 4.9 所示：

表 4.9 稳健性检验（一）

变量	(1) <i>lnCTFP</i>	(2) <i>lnTC</i>	(3) <i>lnEC</i>	(4) <i>lnCTFP</i>	(5) <i>lnTC</i>	(6) <i>lnEC</i>
<i>lnfra</i>	0.082*** (0.010)	0.035*** (0.004)	0.047*** (0.012)	— —	— —	— —
<i>lnurb</i>	-0.150 (0.133)	-0.326*** (0.034)	0.176 (0.142)	-0.185 (0.127)	-0.128 (0.111)	-0.174 (0.142)
<i>lngov</i>	-0.091 (0.125)	-0.020 (0.023)	-0.071 (0.125)	-0.055 (0.134)	-0.079 (0.119)	-0.086 (0.130)
<i>lnest</i>	-0.210** (0.075)	-0.075* (0.037)	-0.135** (0.054)	-0.217*** (0.070)	-0.230*** (0.068)	-0.214** (0.078)
<i>lnopen</i>	0.024*** (0.005)	-0.005*** (0.002)	0.029*** (0.006)	0.029*** (0.006)	0.014** (0.006)	0.023*** (0.005)
<i>lnfra1</i>	— —	— —	— —	0.041** (0.014)	— —	— —
<i>lnfra2</i>	— —	— —	— —	— —	0.053*** (0.011)	— —
<i>lnfra3</i>	— —	— —	— —	— —	— —	0.061*** (0.011)
<i>cons</i>	1.283 (1.020)	1.487*** (0.147)	-0.204 (0.953)	1.719 (0.989)	1.816* (0.896)	1.726 (1.048)
个体	Y	Y	Y	Y	Y	Y
时间	Y	Y	Y	Y	Y	Y
<i>N</i>	390	390	390	390	390	390
<i>R</i> ²	0.229	0.875	0.474	0.224	0.235	0.218

回归结果显示,新基建对碳全要素生产率及其分解部分的影响在1%的显著性水平下均显著为正,对全要素生产率的影响系数为0.082,为技术效率的影响系数0.035、技术进步的影响0.047,说明在不考虑直辖市的情况下,新基建每提高1%。使得技术进步提高0.035%,技术效率提高0.047%,碳全要素生产率提高0.082%。对外开放水平对碳全要素生产率的影响显著为正,城镇化、能源消耗结构不利于碳全要素生产率水平的提高。得出的结论与上文基本一致,进一步说明模型是稳健的,新基建能够促进碳全要素生产率水平的提高。

(2) 替换控制变量

本文通过替换控制变量对模型进行稳健性检验,外商直接投资在一定程度上更能反映对技术与管理的引进水平,使用外商直接投资占GDP的比重替代上文中对外开放水平指标。回归结果如下表4.10所示:

表 4.10 稳健性检验 (二)

变量	(1) <i>lnCTFP</i>	(2) <i>lnTC</i>	(3) <i>lnEC</i>	(4) <i>lnCTFP</i>	(5) <i>lnTC</i>	(6) <i>lnEC</i>
<i>lnfra</i>	0.055*** (0.018)	0.021*** (0.004)	0.034* (0.016)	— —	— —	— —
<i>lnurb</i>	-0.475*** (0.124)	-0.616*** (0.030)	0.141 (0.117)	-0.470*** (0.117)	-0.433*** (0.119)	-0.490*** (0.125)
<i>lngov</i>	-0.232* (0.124)	-0.081*** (0.020)	-0.151 (0.112)	-0.212 (0.130)	-0.224* (0.124)	-0.229* (0.126)
<i>lnest</i>	-0.146*** (0.038)	-0.032 (0.021)	-0.114*** (0.020)	-0.147*** (0.036)	-0.161*** (0.035)	-0.146*** (0.039)
<i>lnopen</i>	0.019 (0.036)	0.007 (0.012)	0.012 (0.025)	0.022 (0.037)	0.019 (0.037)	0.019 (0.036)
<i>lnfra1</i>	— —	— —	— —	0.028** (0.013)	— —	— —
<i>lnfra2</i>	— —	— —	— —	— —	0.043*** (0.009)	— —
<i>lnfra3</i>	— —	— —	— —	— —	— —	0.040** (0.017)
<i>cons</i>	2.876** (0.970)	2.640*** (0.185)	0.236 (0.834)	3.084*** (0.925)	3.145*** (0.922)	3.159*** (0.922)
个体	Y	Y	Y	Y	Y	Y
时间	Y	Y	Y	Y	Y	Y
<i>N</i>	450	450	450	450	450	450
<i>R</i> ²	0.344	0.878	0.433	0.342	0.352	0.340

上表 4.10 回归结果显示, 新基建对碳全要素生产率、技术进步、技术效率的影响在 1% 的显著性水平下均显著为正, 说明了新基建能够促进碳全要素生产率技术进步与技术效率的提高。信息基建基建、创新基建、融合基建在 5% 的显著性水平下为正, 说明了三种维度基建均提高了碳全要素生产率水平, 其他变量方向不变, 说明了模型具有稳健性。

4.3.2 内生性检验

若模型存在内生性问题, 则会影响参数估计的一致性, 使估计结果不准确。本文数据来源于中国各统计年鉴, 数据的准确性相对较高, 以尽量减少由于测量误差所导致的内生性问题。此外, 模型中加入城镇化水平、对外开放水平、政府干预、能源消费结构作为控制变量以减少遗漏变量带来的内生性问题。但是新基建与碳全要素生产率之间可能存在因果关系, 新基建能促进碳全要素生产率的提高, 碳全要素生产率的提高反过来会激励新基建的发展, 可能导致模型存在内生性问题。

为检验并解决内生性问题, 本文使用工具变量模型对其进行检验。首先, 本文借鉴杨慧梅 (2019) [62] 的方法, 选取 1984 年各省份每百人固定电话数量与前一期新基建发展水平的交互项进行工具变量回归。每百人固定电话数高的地区, 信息发展水平较高, 基础设施建设水平可能较高。过去的电话数对现在的碳全要素生产率没有直接的影响, 满足工具变量的相关性与外生性原则。其次, 参考韩亮亮 (2022) [25] 等的思想, 本文选取除浙江省外的其余 29 个省到浙江的球面距离与除该省外当期新基建发展水平的乘积作为新基建的工具变量, 将两个工具变量同时纳入模型进行回归, 回归结果如下表 4.11 所示:

表 4.11 内生性检验回归结果

变量	(1) <i>lnCTFP</i>	(2) <i>lnCTFP</i>	(3) <i>lnCTFP</i>
<i>lnfra</i>	0.058*** (0.013)	0.055*** (0.021)	0.097*** (0.029)
<i>lnest</i>	-0.133*** (0.043)	-0.150*** (0.025)	-0.136*** (0.027)
<i>lnopen</i>	0.030*** (0.007)	-0.022*** (0.007)	-0.027*** (0.008)

续表 4.11 内生性检验回归结果

变量	(1) <i>lnCTFP</i>	(2) <i>lnCTFP</i>	(3) <i>lnCTFP</i>
<i>lngov</i>	-0.238** (0.106)	-0.239*** (0.059)	-0.213*** (0.074)
<i>lnurb</i>	-0.522*** (0.072)	-0.213** (0.095)	-0.377*** (0.114)
<i>cons</i>	2.859*** (0.701)	1.831*** (0.436)	— —
个体	Y	Y	Y
时间	Y	Y	Y
<i>N</i>	450	450	450
<i>R</i> ²	0.351	0.357	0.356

表 4.11 中第 (1) 列与第 (2) 列分别为固定效应面板模型与工具变量回归结果, 结果显示, 固定效应的工具变量效果更好。内生性检验 (Endogeneity test) 的 *p* 值为 0.033, 拒绝无内生性的原假设, 说明模型存在内生性。弱工具变量检验 (Weak identification test) 值为 139.792 大于 15% maximal IV size 值, 说明模型不存在弱工具变量。Sargan statistic 值为 0.261, 说明工具变量是外生的, 适用于本文的模型。工具变量回归结果显示, 新基建对碳全要素生产率的影响系数在 1% 的显著性水平下显著为正, 外商直接投资在 1% 的显著性水平下为正, 能源消耗结构、政府干预、城镇化水平均在 1% 的显著性水平下为负, 与上文结论一致, 进一步说明了模型具有稳健性。

5 结论与建议

5.1 结论

本文基于新基建于碳全要素生产率视角下，基于 2006-2020 年中国省际面板数据，使用非期望超效率 SBM-GML 指数模型测算碳全要素生产率，从多方面对碳全要素生产率的现状进行分析，运用面板固定模型研究了新基建与碳全要素生产率关系及作用机制。得出如下结论：

第一、全国总体碳全要素生产率水平不断升高，技术进步的增长速度大于碳全要素生产率水平的增长速度，技术进步是碳全要素生产率的主要动力源泉；地区间碳全要素生产率存在差异，并且差异不断增加。东部地区碳全要素生产率增长速度较快，高于全国平均水平，中西部地区碳全要素生产率增速较为平缓，均低于全国平均碳全要素生产率水平。

第二、新基建能够促进碳全要素生产率水平的提高，即能促进碳全要素生产率技术进步，又能提高技术效率，实现对碳全要素生产率水平提高的“双重驱动”。信息基建、创新基建、融合基建均表现出显著的促进作用，信息基建的促进作用通过促进技术效率提高碳全要素生产率水平的提高，创新基建与融合基建能够通过技术进步与技术效率提高碳全要素生产率水平。

第三、不同地区新基建对碳全要素生产率的影响存在差异。新基建对东部地区碳全要素生产率的促进作用明显，主要依赖于碳全要素生产率的规模效应。对中西部地区碳全要素生产率的促进作用不明显。

第四、通过机制分析，发现新基建能够通过促进产业结构升级、提高技术创新水平、改善资源配置效率这三条路径提高碳全要素生产率水平。产业结构升级对新基建的促进作用主要体现在促进碳全要素生产率的技术进步，技术创新与资源配置效率对技术效率有显著影响。

5.2 建议

在新发展阶段，推进新基建的发展，应以致力于高效、绿色可持续发展目标，结合新一代信息技术和先进低碳技术，推动绿色技术发展、制造业产业升级，

优化要素市场资源配置,实现经济快速发展和环境保护的双赢。为此结合上文研究结论,本文提出一下建议:

第一、加强区域间的相互合作,统筹区域协调发展,建立区域经济—环境联动协作机制

碳全要素生产率的提高对双碳目标的实现具有重要作用。通过时空演变分析得出地区间碳全要素生产率存在差异,并且差异不断增大。因此需要通过加强区域间的相互合作,统筹区域协调发展,建立区域经济—环境联动协作机制。首先,由于东部地区具有较高的技术及人力资本、碳全要素生产率水平较高,利用东部地区技术与知识溢出效应带动碳全要素生产率水平较低的中西部地区实现经济低碳增长。其次,整合中西部资源与东部先进的技术,特别是加强西部地区建设,加大人才培养、资本和技术的投入,推动经济绿色健康发展,进一步实现我国对节能和低碳发展的长期协同机制的目标。

第二、加快推进新基建项目,拓展多元投资渠道,扩大新基建的应用推广

新基建能够通过提高直接与间接的方法提高碳全要素生产率水平。因此,加强新基建项目投资,扩大新基建的覆盖率,对实现经济快速、绿色高效增长至关重要。首先,政府投资具有风险低稳定性强的特点,因此需要加大政府对新基建的投资力度。其次,还需要积极调动民间投资等多方资金参与,引导社会资金流向新基建。再次,鼓励金融机构通过股权、债券等方式缓解项目资金压力,设置合理融资模式。推进新基建投资健康发展。最后,新基建的投资应确保长期进行,避免盲目重复投资建设。新基建短期内对部分行业可能造成增耗,不利于地区绿色发展。长期中,信息技术和能源技术效应对行业绿色化要素协同减排作用明显。新基建的投资要具有一定的标准,严格控制高排放基建的建设规模扩张。高标准、高质量地开展总体规划和实施。

第三、因地制宜,采取差异化的新基建发展战略,发挥各地区新基建潜能

通过异质性分析发现,新基建能促进东部地区碳全要素生产率的提高,对中西部地区碳全要素生产率影响不显著,因此,需优化中西部地区资源配置,加强新基建在中西部地区的投资建设。首先,通过适当的财政补贴支持中西部新基建发展,将互联网应用水平整合到政府的服务中,提高数字经济专业人才培养,减少东部与中西部差异,进一步推动新基建在中西部地区的节能减排效应。其次,

加快东数西算工程建设，优化各地区的数据中心建设布局，实现各地区新基建的协调发展。再次，优化中西部地区的人力资源结构，增加科技财政的投入，引进高水平人力资本，提高生产技术水平，助力中西部地区的产业结构升级，进而实现中西部地区的低碳排放效应。

第四、要加强顶层设计，强化新型基础设施的绿色低碳导向

新基建发展过程中仍然会消耗大量的能源，比如，大型数据中心对电力消耗比重较大，不仅会造成大量碳排放，也会削减新基建效益。由上文得出，新基建能够通过产业结构升级、技术创新、资源配置效率促进碳全要素生产率水平的提高。因此，需要从这三个方面加强新基建绿色低碳发展。首先，充分发挥新基建的绿色导向作用，推动产业结构转型升级加快绿色发展。新基建相对传统基建突出“新”，使用新的技术、新的材料提高产业生产效率，降低能源消耗，助力产业升级。其次，加大新基建技术投入，通过人工智能等技术，减少数据中心的能源消耗水平。加大清洁能源的投资建设，结合新能源开发和存储等技术，提高清洁能源的储存量，加大使得数据中心新能源的使用比重。再次，新基建投入建设中要不断完善资源配置效率，加强资源重复利用率，加快推进高耗能设备退网和升级改造。

参考文献

- [1] Caves D W, Christensen L R, Diewert W E. The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity[J]. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1982: 1393-1414.
- [2] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. *European journal of operational research*, 1978, 2(6): 429-444.
- [3] Farrell M J. The measurement of productive efficiency[J]. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 1957, 120(3): 253-281.
- [4] Hall R E, Jones C I. Why do some countries produce so much more output per worker than others? [J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1999, 114(1): 83-116.
- [5] Hulten C R, E Bennathan, S Srinivasan. Infrastructure, Externalities, and Economic Development: a Study of the Indian Manufacturing Industry[J]. *World Bank Economic Review*, 2006(2): 291-308.
- [6] Malmquist S. Index numbers and indifference surfaces[J]. *Trabajos de estadística*, 1953, 4(2): 209-242.
- [7] Meeusen W, van Den Broeck J. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error[J]. *International economic review*, 1977: 435-444.
- [8] OH D H. A global Malmquist-Luenberger productivity index[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2010, 34(3): 183-197.
- [9] Solow R M. Technical change and the aggregate production function[J]. *The review of Economics and Statistics*, 1957: 312-320.
- [10] Sun H, Zhang Z, Liu Z. Regional differences and threshold effect of clean technology innovation on industrial green total factor productivity[J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2022: 1465.
- [11] Tang C, Xue Y, Wu H, et al. How does telecommunications infrastructure affect eco-efficiency? Evidence from a quasi-natural experiment in China[J]. *Technology in Society*, 2022, 69: 101963.

- [12] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European journal of operational research, 2001, 130(3): 498-509.
- [13] Zaim O, Taskin F. Environmental efficiency in carbon dioxide emissions in The OECD: A non-parametric approach [J]. Journal of Environmental Management, 2000, 58(2): 95-107.
- [14] 白雪洁,孙献贞.互联网发展影响全要素碳生产率:成本、创新还是需求引致[J].中国人口·资源与环境,2021,31(10):105-117.
- [15] 钞小静,廉园梅,罗鎏锴.新型数字基础设施对制造业高质量发展的影响[J].财贸研究,2021,32(10):1-13.
- [16] 钞小静,薛志欣,孙艺鸣.新型数字基础设施如何影响对外贸易升级——来自中国地级及以上城市的经验证据[J].经济科学,2020(03):46-59.
- [17] 陈开江.数字化新基建与我国流通业全要素生产率提升:理论分析和实证研究[J].商业经济研究,2021(23):5-8.
- [18] 程云鹤,齐晓安,汪克亮,杨力.低碳约束下中国全要素生产率的时空演变——基于 Sequential Malmquist-Luenberger 生产率指数分解方法[J].技术经济,2012,31(09):51-58.
- [19] 董锋,徐喜辉,龙如银,韩宇.我国碳排放区域差异性分析[J].长江流域资源与环境,2014,23(11):1526-1533.
- [20] 杜宇.中国能源消耗、技术进步对碳排放的影响研究[D].北京化工大学,2019.
- [21] 冯正强,于佳惠.新型信息基础设施建设对我国出口贸易升级的作用机制及异质性研究[J].国际经济合作,2021(03):32-41.
- [22] 高文静,任雪荻,康旭华,赵国浩.工业碳生产率提升的资源优化配置路径分析[J].宏观经济研究,2018(05):166-175.
- [23] 郭朝先,徐枫.新基建推进“一带一路”建设高质量发展研究[J].西安交通大学学报(社会科学版),2020,40(05):1-10.
- [24] 郭卫香,孙慧.环境规制、技术创新对全要素碳生产率的影响研究——基于中国省域的空间面板数据分析[J].科技管理研究,2020,40(23):239-247.
- [25] 韩亮亮,彭伊,孟庆娜.数字普惠金融、创业活跃度与共同富裕——基于我国省际面板数据的经验研究[J/OL].软科学,2022,21(12):1-18.

- [26] 何玉梅,赵欣灏.新型数字基础设施能够推动产业结构升级吗——来自中国272个地级市的经验证据[J].科技进步与对策,2021,38(17):79-86.
- [27] 季书涵,朱英明,张鑫.产业集聚对资源错配的改善效果研究[J].中国工业经济,2016(06):73-90.
- [28] 李博,张文忠,余建辉.服务业发展、信息化水平与全要素碳生产率增长——基于门限效应的实证研究[J].地理研究,2016,35(05):953-965.
- [29] 李海鹏,王子瑜.中国农业碳生产率变化的驱动因素与区域差异研究[J].生态经济,2020,36(05):13-18.
- [30] 李凯风,李子豪.黄河流域绿色全要素生产率测度[J].统计与决策,2022,38(04):98-101.
- [31] 李铭泓,黄羿,朱伟俊,张发根,常向阳.中国交通运输业碳排放全要素生产率研究——基于 Global Malmquist-Luenberger 指数[J].科技管理研究,2021,41(09):203-211.
- [32] 李楠,史贝贝,白东北.新型数字基础设施是否有助于促进制造业出口国内附加值率的提升?——机理分析与效应检验[J].商业研究,2022(01):12-24.
- [33] 李莎.产业结构优化升级对绿色全要素生产率的影响研究[J].价格理论与实践,2021(04):67-70+170.
- [34] 林伯强,刘希颖.中国城市化阶段的碳排放:影响因素和减排策略[J].经济研究,2010,45(08):66-78.
- [35] 刘传明,马青山.网络基础设施建设对全要素生产率增长的影响研究——基于“宽带中国”试点政策的准自然实验[J].中国人口科学,2020(03):75-88+127-128.
- [36] 刘涛,周白雨.效率与路径:“新基建”投资驱动与中国经济高质量发展——基于投资类别与投资空间双重异质性[J].济南大学学报(社会科学版),2021,31(06):99-113+175.
- [37] 刘传江,赵晓梦.长江经济带全要素碳生产率的时空演化及提升潜力[J].长江流域资源与环境,2016,25(11):1635-1644.
- [38] 刘璇,李长英.产业结构变迁、互联网发展与全要素生产率提升[J].经济问题探索,2022(07):124-138.

- [39] 陆丹丹,孙华平.低碳视角下中国省域电力绿色全要素生产率增长路径研究[J].煤炭经济研究,2021,41(04):11-19.
- [40] 路正南,朱新郎.政府干预视角下产业集聚对碳排放强度的影响分析[J].工业技术经济,2018,37(02):121-127.
- [41] 罗良文,潘雅茹,陈峥.基础设施投资与中国全要素生产率——基于自主研发和技术引进的视角[J].中南财经政法大学学报,2016(01):30-37+159.
- [42] 潘雅茹,顾亨达.新型基础设施投资对服务业转型升级的影响[J/OL].改革,2022,15(06):1-12.
- [43] 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(06):181-200.
- [44] 宋德勇,李超,李项佑.新型基础设施建设是否促进了绿色技术创新的“量质齐升”——来自国家智慧城市试点的证据[J].中国人口·资源与环境,2021,31(11):155-164.
- [45] 苏方林,陆洪波.中国东部沿海地区全要素碳生产率动态面板数据分析[J].生态经济,2019,35(02):13-18.
- [46] 孙华平,杜秀梅.全球价值链嵌入程度及地位对产业碳生产率的影响[J].中国人口·资源与环境,2020,30(07):27-37.
- [47] 孙尚斌.新型基础设施建设对全要素生产率的影响研究[D].吉林大学,2022.
- [48] 王慧,孙慧,肖涵月,辛龙.环境政策不确定性、双向 FDI 与低碳全要素生产率的关系[J].中国人口·资源与环境,2020,30(11):75-86.
- [49] 王凯,马月琴,甘畅,张淑文,刘浩龙.中国旅游业全要素碳生产率动态演进及其影响因素[J].环境科学研究,2020,33(10):2388-2398.
- [50] 王丽.对外直接投资对母国碳生产率的影响研究[J].技术经济与管理研究,2022(04):14-19.
- [51] 王淑英,程南皓,卫朝蓉.绿色技术创新与碳生产率的空间溢出效应——基于政府支持的调节作用研究[J].管理现代化,2021,41(05):87-92.
- [52] 王淑英,寇晶晶,卫朝蓉.创新要素集聚对经济高质量发展的影响研究——空间视角下金融发展的调节作用[J].科技管理研究,2021,41(07):23-30.
- [53] 王鑫静,程钰.城镇化对碳排放效率的影响机制研究——基于全球 118 个国家

- 面板数据的实证分析[J].世界地理研究,2020,29(03):503-511.
- [54] 王志刚,黎恩银.政府基建支出如何兼顾稳增长与调结构——基于生产网络的视角[J].经济学动态,2022(08):25-44.
- [55] 文传浩,谭君印,李益,赵柄鉴.新型基础设施建设的减排效应及其作用机制研究[J].工业技术经济,2021,40(12):122-130.
- [56] 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.
- [57] 武力超,陈韦亨,林澜,冯巧.创新及绿色技术创新对企业全要素生产率的影响研究[J].数理统计与管理,2021,40(02):319-333.
- [58] 谢会强,黄凌云,刘冬冬.全球价值链嵌入提高了中国制造业碳生产率吗[J].国际贸易问题,2018(12):109-121.
- [59] 辛永容,陈圻,肖俊哲.要素产出弹性与技术进步贡献率的测算[J].管理科学,2009,22(01):113-120.
- [60] 许冬兰,韩婧彤.双环流价值链嵌入对低碳全要素生产率的影响效应研究[J].中国地质大学学报(社会科学版),2022,22(01):99-114.
- [61] 杨德云,李晶,杨翔.环境规制对中国区域碳生产率的影响研究[J].西南大学学报(自然科学版),2021,43(05):110-120.
- [62] 杨慧梅,江璐.数字经济、空间效应与全要素生产率[J].统计研究,2021,38(04):3-15.
- [63] 余奕杉,卫平.中国城市绿色全要素生产率测度研究[J].生态经济,2021,37(03):43-52.
- [64] 袁润松,丰超,王苗,黄健柏.中国区域绿色低碳生产率增长源泉分解研究[J].福建师范大学学报(哲学社会科学版),2016(05):9-16+168.
- [65] 岳立,肖飒,王威华.新结构经济学视角下技术进步对碳生产率的影响研究[J].工业技术经济,2021,40(03):82-91.
- [66] 张军,章元.对中国资本存量 K 的再估计[J].经济研究,2003(07):35-43+90.
- [67] 张丽峰.基于 DEA 模型的全要素碳生产率与影响因素研究[J].工业技术经济,2013,32(03):142-149.
- [68] 张宁.碳全要素生产率、低碳技术创新和节能减排效率追赶——来自中国火

- 力发电企业的证据[J].经济研究,2022,57(02):158-174.
- [69] 张文彬,邓玲.中国对外直接投资对碳生产率的影响效应研究[J].华东经济管理,2019,33(11):78-85.
- [70] 张晓民,金卫.以新型基础设施建设推动经济社会高质量发展[J].宏观经济管理,2021(11):85-90.
- [71] 张永庆,王晓凤.信息基础设施投入对全要素生产率的影响[J].技术与创新管理,2020,41(05):488-494.
- [72] 赵星.新型数字基础设施的技术创新效应研究[J/OL].统计研究,2022,15(06),1-13.
- [73] 周晓辉,刘莹莹,彭留英.数字经济发展与绿色全要素生产率提高[J].上海经济研究,2021(12):51-63.

致 谢

时间飞逝，转眼间我即将毕业了!此时此刻，内心感慨万分。这几年让我学会了很多东西。学校老师们对待学术严谨认真的态度，让我在学习和生活上都受益匪浅。特别是在当我刚研究生学习的第一门专业课的时候，我们还沉浸在大学阶段松散状态，老师就提醒我们现在是研究生了，告诉我们研究生与本科生的区别，引导了我们遇到问题要去思考，不会的自己去查阅资料学习，从而培养了我独立思考和学习的习惯，对我后续生活和学习起着很大的帮助。

不管是平时的小论文还是最终的毕业论文，在写作过程会遇到各种困难，都需要我们自己去探索解决方案，一点一滴的去积累经验，这个过程是艰辛的也是快乐的，因为付出总会有回报。当然，这些都离不开大家的帮助。首先，最重要的是感谢我的导师傅老师，在学术和生活上给予我很大的帮助与支持，从选题到论文初稿的不断修改再到最终的定稿，给我提供了很多宝贵意见。平时当我遇到问题请问他的时候，他也会第一时间给我回复，并给出解决方案。其次，感谢我的家人一直给与我默默的关怀，给予我最大的精神支持，成为我完成学业的坚强后盾。还要感谢我的室友、朋友们等等，陪伴了我整个研究生阶段，不管是生活上还是学习上都给了我很大帮助。

正是由于以上的鼓励和鞭策，使我能够顺利完成自己的学习任务 and 学位论文，谨以此文感谢所有关心和帮助过我的老师、同学、朋友，以及养育我的、始终关心支持我的父母和家人。