



北京工业大学学报(社会科学版)

Journal of Beijing University of Technology(Social Sciences Edition)

ISSN 1671-0398,CN 11-4558/G



《北京工业大学学报(社会科学版)》网络首发论文

题目：数实融合、资源配置与绿色转型绩效
作者：王浩，蒋金荷
收稿日期：2025-03-21
网络首发日期：2025-07-08
引用格式：王浩，蒋金荷. 数实融合、资源配置与绿色转型绩效[J/OL]. 北京工业大学学报(社会科学版). <https://link.cnki.net/urlid/11.4558.G.20250708.1000.002>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

数实融合、资源配置与绿色转型绩效

王浩¹, 蒋金荷^{2,1}

(1. 中国社会科学院大学 应用经济学院, 北京 100102;
2. 中国社会科学院 数量经济与技术经济研究所, 北京 100732)

摘要: 数字经济和实体经济深度融合引发了从生产要素到生产力再到生产关系的系统性变革, 是推动经济社会发展全面绿色转型的重要一环。基于 2011—2021 年全国 244 个地级市面板数据, 在构建数字经济与实体经济融合水平和城市绿色转型绩效测度指标的基础上, 同时从理论和实证层面研究了数实融合对城市绿色转型绩效的影响和作用机理。研究发现: 数实融合对城市绿色转型绩效有显著的促进作用, 其重要途径是提高资源配置效率, 同时市场一体化水平和数字治理存在正向调节作用。而异质性分析表明, 数字鸿沟的存在影响城市绿色转型绩效, 技术水平高的城市能够享受更明显的数字红利, 相比于中部地区, 东部地区和西部地区数实融合能够带来更为显著的促进作用。相较于资源型城市, 非资源型城市数实融合对城市绿色转型绩效的促进作用更为明显。基于以上结论, 从拓宽数字经济与实体经济融合深度广度、完善数字平台和数据市场建设和促进协同发展等方面对提高绿色转型绩效提出政策建议。

关键词: 数实融合; 绿色转型绩效; 网络 SBM; 资源配置

中图分类号: F208

文献标志码: A

文章编号: 1671-0398(2025)05-0000-00

在资源环境约束日益加剧、全球气候变化日趋严峻的背景下, 推动绿色转型发展已成为实现经济社会可持续发展的必然选择。党中央在《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》中指出“推动经济社会发展绿色化、低碳化, 是新时代党治国理政新理念新实践的重要标志, 是实现高质量发展的关键环节”, 要实现“加快数字化绿色化协同转型发展”和“加快经济社会全面绿色转型”^①。与此同时, 党的二十届三中全会指出“健全促进实体经济和数字经济深度融合制度”, “加快推进新型工业化, 培育壮大先进制造业集群”, 同时指出要“加快构建促进数字经济发展体制机制, 完善促进数字产业化和产业数字化政策体系”^②。数字经济与实体经济深度融合是建设现代化产业体系的重要引擎, 更是构建新发展格局的重要抓手^[1], 数字经济和实体经济融合在推动传统产业绿色升级的同时带动绿色产业发展和新兴经济培育。中国数字化转型进程不断加快, 数字经

收稿日期: 2025-03-21

基金项目: 国家社科基金重大项目(24VRC030); 中国社会科学院经济大数据与政策评估实验室项目(2024SYZH004); 中国社会科学院大学研创计划项目(2025-KY-052)

作者简介: 王浩(1997—), 男, 中国社会科学院大学博士研究生;

蒋金荷(1968—), 女, 中国社会科学院数量经济与技术经济研究所研究员, 中国社会科学院大学应用经济学院教授, 博士生导师。

① https://www.gov.cn/zhengce/202408/content_6967663.htm。

② https://www.gov.cn/zhengce/202407/content_6963770.htm。

济与实体经济融合活力不断提高,如何通过数字经济和实体经济深度融合提高绿色转型绩效、赋能经济社会发展全面绿色转型,成为当前学术界和实务部门研究的重点。

一、文献回顾

经济社会发展全面绿色转型是全方位、全领域的绿色转型,不仅仅需要生产方式和生活方式的绿色转型,更要做到创新转型、协同转型和安全转型,实现环境保护和经济高质量增长的双重目标,建设人与自然和谐共生的现代化新格局。绿色发展是一种绿色经济增长模式,注重经济系统、社会系统和自然系统的和谐共生,在强调全球治理的基础上实现经济增长和污染排放的脱钩^[2]。资源节约、环境保护和生态修复是实现绿色发展的基本要素,在这个基础上要打造绿色产业体系和绿色制度体系^[3]。黄跃和李琳^[4]认为绿色发展与可持续发展观点一脉相承,追求在资源环境的约束下,实现社会、经济和生态的协同发展,因此分别选取代表经济发展、社会进步和生态文明的指标考察中国城市群绿色发展趋势。从其测度看,当前学者研究重点集中于构建反映环境与发展协调性的综合指标体系以及针对不同领域的测度实践,总体上涵盖了绿色转型的多维内涵^[5-7],如卞(Bian)等^[8]认为实现绿色转型必须从污染治理的末端防治转向源头预防和综合治理,因此在借鉴可持续发展理论的基础上从减污、降碳、扩绿、增长四个维度衡量中国城市绿色转型发展程度。同时有学者基于全要素生产率考虑地区绿色发展水平,如刘锦涛等^[9]在将实际国内生产总值和国民净收入作为期望产出变量将二氧化碳、颗粒物排放损害和自然资源损耗作为非期望产出变量衡量了“一带一路”沿线国家的绿色经济发展水平。

当前关于绿色转型的影响因素的研究集中在技术进步、产业升级和制度因素等方面。有学者研究发现,一个地区的产业发展水平是影响当地绿色发展水平的关键因素,产业结构的绿色转型会促进当地及周边地区的绿色发展^[10-11]。从技术进步视角看,技术水平的发展能够提高能源使用效率、形成新的绿色发展范式进而促进可持续发展^[12-13]。邵帅等^[14]认为经济结构调整和绿色技术进步是经济社会发展的“双引擎”,是实现中国经济低碳发展的必然选择。同时有学者认为政府制度创新有利于促进当地绿色转型,而地方政府竞争、环境规制包括不同的环境试点政策都会影响地区的绿色发展水平^[15-17]。此外,有学者研究了数字经济与地区绿色发展的关系,数字经济的发展能够促进地区产业升级、技术进步和资源配置效率进而赋能绿色发展^[18-19],寇冬雪等^[20]研究指出企业数字化能够从信息披露和创新驱动两方面驱动企业绿色化转型。

当前关于数字经济和实体经济融合的研究集中在其内涵、测度、影响等方面。数字经济与实体经济深度融合是以数据成为新型生产要素为基础,依靠数字技术和数据要素参与到生产流通的全过程,促进资源流通与优化,进而促进了研发层面、产业层面和企业层面的融合^[1]。因此,数字经济和实体经济深度融合可分为三个层面,一是数据、技术参与生产流通引致的数字技术与实体经济深度融合,二是以新型平台经济为代表的市场融合,三是以新型实体企业参与出现的新型实体经济^[21]。由于涉及数据要素参与和数字技术应用,数实融合的理论机理可表述为侧重技术要素利用、侧重数据要素开发和侧重网络效应发挥等三种要素机制方式^[22]。而从融合效应来看,数字经济和实体经济融合过程是组织形态变革和价值模式创新的过程,赋予了实体经济新内涵,拓宽了传统经济的边界,重塑了社会生产、分配、交换和消费新格局^[23-24]。从融合水平测度看,有学者在分别测度数字经济和实体经济发展基础上,进一步使用耦合协调度模型衡量其融合发展水平^[7,25-26]。此外,孟(Meng)等^[27]使用投入产出法衡量了中国工业部门各子行业数字经济和实体经济的融合水平,王(Wang)等^[28]使用专利引用数据量化了企业内部数字经济和实体经济融合特征。

至于数实融合影响方面,数字经济和实体经济融合对推动经济社会转型产生着重要影响。全球已有多个国家和地区开启了互联网战略规划,如美国“工业互联网”计划、德国“工业 4.0”战略

计划和日本“互联工业”计划等旨在应用互联网技术推动产业升级,最终推动经济转型^[29]。另外,数字经济和实体经济融合在提高能源效率、推动就业结构升级和提高绿色全要素生产率等方面发挥着重要影响^[25,28,30]。孙(Sun)等^[31]研究发现数字经济和实体经济融合能够通过缓解企业融资约束、推动企业数字化转型等方式促进企业绿色创新。

综上所述,现有文献侧重于研究数字经济与实体经济融合的逻辑机理和具体路径,虽然有部分文献探讨了数实融合的绿色效应,但对于数实融合如何促进绿色转型绩效提高的机制研究略有不足,同时对于绿色转型绩效的刻画仍不充分。本文使用2011—2021年中国244个地级市数据在测度城市绿色转型和数实融合水平的基础上,从理论和实证两方面研究数实融合对绿色转型绩效的影响和内在机理。可能存在的边际贡献如下:一是使用网络SBM模型从宏观发展绩效和居民绿色福利两方面衡量绿色转型绩效,对绿色转型绩效刻画和把握更为准确。二是本文分别从生产与消费两个视角出发,系统分析了数字经济与实体经济融合对绿色转型绩效的作用机制,并进一步剖析了其通过优化资源配置效率,促进经济社会全面绿色转型的内在逻辑链条。三是本文从数字鸿沟、技术水平、区域异质性和资源异质性等方面考察了不同异质性条件下,数实融合对城市绿色转型绩效的影响差异,探讨了市场一体化水平和数字治理对数实融合影响绿色转型绩效存在的调节效应,为促进城市绿色转型提出了可行的政策建议。

二、理论分析与研究假说

(一)数实融合与绿色转型绩效

数字经济和实体经济的深度融合引发了从生产要素到生产力再到生产关系的系统性变革,带来了更绿色的生产方式和消费方式,是提高绿色转型绩效、赋能经济社会全面绿色转型的关键一环。从生产方式看,数字经济和实体经济深度融合的基础和关键是数据要素和数字技术,数据生产要素具有正外部性、非损耗性和折旧率低等特征,能够突破有限资源对经济发展的局限,实现范围经济和规模收益递增^[32],在提高资源利用效率的同时促进企业全要素生产率上升。数据生产要素具有高流动性特征,其进入生产过程也改变了生产函数中的要素构成和相互关系^[33],数据要素与其他生产要素的结合也更容易发挥其积累和乘数效应。数字技术作为经济增长的新驱动力引入生产函数,在优化经济结构的同时能够显著提高传统要素的效率^[34],带动企业内部组织构成、经营管理和资源配置全面转变,提高企业的投入产出效率。同时,云计算、区块链等数字技术,具有渗透性、协同性等特征,广泛嵌入到企业生产、管理全过程^[35],在促进资源整合的同时,能够对生产环境进行更为精细的控制,在赋能企业数字化转型的同时能够进一步带动绿色生产技术的应用,赋能企业绿色生产率提高。另外,数字经济与实体经济深度融合,是数字技术向各行业各领域的广泛渗透和深入应用,不仅有利于开辟发展新赛道,还能够实现对传统产业的数字化改造,工业互联网、大数据、人工智能与制造业深度融合,推动制造业数字化、绿色化、智能化发展,在促进企业生产效率提高的同时还能够带动整个行业的绿色转型,实现生产工艺的绿色化和能源使用的高效化。

从消费方式看,数字经济与实体经济深度融合,带来了商业模式和应用情景的创新,以数据为基础的信息网络和数字技术的发展带来了生产力与生产关系的变革,形成了共享经济、平台经济和网络经济等新型生产活动和生产方式^[1]。电商平台的发展不仅聚合物流和信息流等要素,还能够实现供需之间的精准匹配,满足消费者多样化的绿色消费需求,引领绿色消费新趋势^[36]。平台经济的发展打破了传统商业模式中的信息闭锁,突破了“孤岛效应”,缓解了市场上供需双方存在的信息不对称问题^[37],实现了资源整合,降低了交易成本,推动生产方式向高效集约转变。另外,共享经济的发展带动了循环经济的发展,人们在选择绿色消费产品的同时也更容易形成节能环保的生活理念,平台经济和共享经济等的发展促进了资源整合与优化,也改变了传统消费方式,在促进

绿色生产也带动了绿色消费,推动了经济社会全面绿色转型。基于上述分析,文章提出如下假说:

假说 H1:数实融合显著提升绿色转型绩效。

(二)数实融合影响绿色转型绩效的机制分析

数字经济和实体经济深度融合能够优化资源配置进而提高绿色转型绩效。无论是数据要素、数字技术参与生产,还是共享经济和平台经济的兴起,数字经济与实体经济的深度融合都优化了劳动、资本等资源配置,在缓解信息不对称的同时提高资源配置效率,拓宽传统生产边界,促进了清洁高效生产,赋能经济社会全面绿色转型。一是,数据作为关键生产要素,参与企业产品生产流通全过程,在需求、供给和双边交易市场发挥着重要作用,降低了信息不对称程度,打破了不同行业要素自由流动的壁垒,使劳动、资本等传统生产要素被配置到边际报酬回报率更高的行业,提高了资源配置效率。资源配置效率提高,意味着以更少的资源投入,获得更多的产出,同时当资本、能源、劳动力等要素能够更加精准地流动和配置,其单位产出所需的能耗和排放自然下降,带动了整个社会的绿色转型。同时,竞争机制的完善能够提高市场公平与效率,激发企业绿色创新活力^[38],配置效率的提升会通过市场机制倒逼高污染、高耗能、低产出的“僵尸企业”退出,引导绿色产业发展,最终实现结构性绿色转型。

二是,数字技术的进步、平台经济的发展能够打造出更为便捷的跨时空信息交流平台,拓宽了资源配置的时间和空间范围,不论是对于企业内部、产业链上下游还是不同行业都能够得到实现资金、人才、技术的交流,提高了要素供需匹配精准程度的同时也降低了绿色技术创新的成本^[27],最终通过数字化平台实现区域间能源互补、产业协同、技术共享,提高绿色转型绩效。另外,数据要素与其他要素结合能够进一步实现范围经济^[39],打破了资源、空间与技术禀赋的传统限制,还显著提升了绿色转型的系统效率和多样性路径,最终推动绿色转型绩效提升。最后,数字经济与实体经济深度融合,在“数据+算力+算法”等技术体系支持下,在促进要素快速流动的同时,进一步构建了融合新场景和新业态,实现了产业全要素的互联互通,在降低资源消耗和污染排放的同时能够引导生产绿色化转型。本文提出如下假说:

假说 H2:数实融合通过优化资源配置机制显著提升绿色转型绩效。

(三)市场一体化和数字治理的调节效应分析

2022 年 3 月,《中共中央 国务院关于加快建设全国统一大市场的意见》提出:“打破地方保护和市场分割”和“促进商品要素资源在更大范围内流动”^①,市场一体化的进程是生产要素在生产、分配、交换和消费各环节自由流通的过程,市场一体化水平的提高也有助于经济社会全面绿色转型。市场一体化是指在一个国家内形成商品与要素自由流动及资源优化配置的统一市场^[40]。一是,数字经济对实体经济的绿色改造依赖数据、算法和数字基础设施的广泛流通,而市场一体化的提高意味着规则统一、要素自由流动、制度协调性增强,有助于数据跨行业、跨地区、跨系统流动,在提高资源配置效率的同时有利于绿色数字技术的扩散。二是,数字经济和实体经济融合带动的整个产业链的绿色转型,市场一体化增强了区域间、链条间的连接性,使数字赋能可以贯穿全链条,从而构建出绿色产业生态体系。三是,市场一体化水平的提高为各地区提供更公平的竞争环境,在推动政策统一和标准统一的同时,有利于构建协同减排机制,加速绿色转型进程,提升绿色转型质效。

最后,从数字治理的角度看,数字治理能力的提高意味着政府和市场主体能够更为高效地配置资源,在数实融合和绿色转型绩效提升之间发挥正向调节作用。现代环境理论认为,环境治理系统是一个涉及多个参与者和要素的复杂系统,而其有效性取决于各方的协同努力^[41]。而外部政策和监管措施不仅影响数字经济和实体经济产业技术融合的积极性,同时影响其融合方向^[28]。数字治理随着数字信息技术在政府政务中的大规模应用而出现,体现着数字要素和治理要素的结合,既包

① https://www.gov.cn/zhengce/2022-04/10/content_5684385.htm。

括传统政务的电子化,也包括公众借助信息通讯技术参与政府决策^[42]。一是,实体经济的数字化改造使数据从“附属物”变为“关键资产”,大数据、数字技术的发展提供了丰富的环境监测数据,通过数字治理平台及时披露准确的环境信息,数字治理平台的发展能够提高监管效率和透明度^[43],政府、企业和社会可以共享关于环境保护、资源利用和污染排放的实时数据,在促进企业绿色生产的同时,增强公众对绿色政策的参与和支持。二是,数字经济和实体经济融合打破了传统行业边界,形成了新型“平台型生态系统”或“数字产业链”治理对象,数字治理通过反垄断、算法监管、平台公平交易规则等机制在保障平台公平性的同时能够保护中小企业发展,降低绿色数字化转型的市场门槛。三是,数字经济和实体经济融合在提高绿色转型绩效的过程中依赖数字技术,而高水平的数字治理会通过标准制定、认证机制等方式促进绿色数字技术的普及,从而推动其在能源、电力、交通、制造等实体领域的广泛应用,提升绿色转型绩效。基于上述分析,本文提出如下假说:

假说 H3:市场一体化与数字治理对数实融合提升绿色转型绩效具有正向调节效应。

三、研究设计

(一) 模型构建

为了验证数字经济和实体经济深度融合对绿色转型绩效的影响,本文构建如下双向固定效应模型,对假说 H1 进行检验,具体见式(1):

$$GD_{it} = \alpha + \beta DS_{it} + \gamma Z_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i, t 分别代表个体和时间, GD_{it} 为被解释变量,代表绿色转型绩效, DS_{it} 为解释变量,代表数字经济和实体经济融合水平,系数 β 表示数字经济和实体经济融合水平对绿色转型绩效的影响水平, Z_{it} 为控制变量合集,代表一系列其他可能影响绿色转型绩效的因素。 μ_i 为个体固定效应,用于控制一系列仅与个体相关而不随时间变化的因素, δ_t 为时间固定效应,用于控制一系列仅与时间相关而不随个体变化的因素,如影响世界的宏观经济波动等, ε_{it} 为随机误差项。最后,实证分析中,将标准误聚类到城市层面。

(二) 变量说明

1. 解释变量:数实融合水平(DS_{it})

数字经济和实体经济深度融合以数据为关键要素,数字技术赋能实体经济,而实体经济也为数字经济的发展丰富了应用场景和数据资源,两者的融合过程是相互促进、协调发展的过程,进而实现良性循环。本文参考史丹和孙光林^[44]的相关研究,使用耦合协调度模型测算数字经济和实体经济融合水平。

$$C = \frac{2 \sqrt{DE \times RE}}{DE + RE} \quad (2)$$

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

$$T = \alpha \times DE + \beta \times RE \quad (4)$$

其中, DE 为数字经济发展水平, RE 为实体经济发展水平, C 为数字经济和实体经济耦合度,仅仅反映数字经济和实体经济之间的相互关系,有可能出现两系统发展水平较低但是有较高的耦合度的情况。 T 为数字经济和实体经济综合协调指数, α 和 β 分别反映数字经济和实体经济的贡献系数,且 $\alpha + \beta = 1$,数字经济和实体经济同等贡献,取 $\alpha = \beta = 0.5$ 。 D 为数字经济和实体经济的耦合协调度,反映数字经济和实体经济融合水平。

数字经济是基于数字技术的新型经济形态,以现代信息网络为主要载体,强调信息和数据的处理与传输,数字产品、服务和平台是其核心要素。本文参考黄珊等^[45]相关研究,从数字基础设施、数字产业化、产业数字化和数字经济发展环境等方面综合衡量数字经济发展。黄群慧^[26]认为实体

经济可以分为三个层次,而最广义的实体经济包括农业、工业和除金融业、房地产业以外的其他所有服务业。本文借鉴张帅等^[46]相关研究,从实体经济发展规模、实体经济发展效益和实体经济发展韧性等方面衡量实体经济发展水平。如表 1 所示,在分别对数字经济和实体经济两部分内容使用熵值法模型得到数字经济发展水平和实体经济发展水平,之后使用耦合协调度模型得到数字经济和实体经济融合水平,即 DS_u 。其中,电子商务交易额参考黄贇琳等^[47]相关研究,在得到各省市电子商务交易额的基础上使用各地级市快递业务量占本省比重作为权重分解得到各地级市电子商务交易额,电子商务企业数数据来自企业社科大数据平台数字经济数据库,中国数字普惠金融指数数据来自北京大学数字金融研究中心,数字经济专利申请量数据来自 CNRDS 数据库,政府数字关注度参考刘毛桃等^[48]等相关研究使用文本分析方法得到,财政自给率为地方一般公共预算收入与支出比值,资本存量使用永续盘存法,初始资本存量和折旧率参考张军等^[49]相关研究,其余数据来自《中国城市统计年鉴》、各地市统计年鉴和统计公报。

表 1 数字经济和实体经济发展水平测度指标

一级指标	二级指标	三级指标	性质
数字经济发展 水平 (DE)	数字基础设施	每百人国际互联网用户数 (户)	正向
		每百人移动电话用户数 (户)	正向
		交通运输、仓储和邮政业从业人员占比 (%)	正向
	数字产业化	人均电信业务总量 (万元/人)	正向
		人均邮政业务收入 (万元/人)	正向
		信息传输、计算机服务和软件业从业人员占比 (%)	正向
	产业数字化	电子商务交易额 (万元)	正向
		电子商务企业数 (个)	正向
	数字经济发展环境	中国数字普惠金融指数	正向
		数字经济专利申请量 (件)	正向
		政府数字关注度	正向
实体经济发展 水平 (RE)	实体经济发展规模	人均实体经济 GDP ^① (元/人)	正向
		规模以上工业企业数量 (个)	正向
		实体经济从业人员占比 ^② (%)	正向
	实体经济发展效益	规模以上工业企业利润总额 (亿元)	正向
		人均社会消费品零售总额 (万元/人)	正向
		限额以上批发零售贸易业商品销售额 (万元)	正向
	实体经济发展韧性	金融机构存贷款余额 (万元)	正向
		财政自给率 (%)	正向
		固定资本存量 (万元)	正向
		货物进出口总额 (万元)	正向

① 实体经济 GDP 指去除金融业、房地产业增加值之后的 GDP,笔者手工整理得,并以 2011 年为基期平减。
② 实体经济从业人员占比为去除金融业和房地产业从业人员和城镇单位就业人员比值,笔者手工整理得。

2. 被解释变量:绿色转型绩效(GD_{it})

经济社会全面绿色转型不仅仅是经济和社会的发展,更是“工业时代”的“褐色文明”向“生态文明时代”的“绿色文明”转型,其最终目标是实现人与自然和谐共生,包括节约资源、保护环境和社会福利提高等多种目标。托恩和筒井(Tone and Tsutsui)^[50]在两阶段 DEA 的基础上提出了同时考虑期望产出和非期望产出的网络 SBM 模型,邵帅等^[51]使用 *Hybird-Network-DEA* 模型从宏观发展绩效和微观福利绩效两方面考虑环境福利绩效,本文在借鉴上述研究的基础上使用网络 SBM 模型从宏观发展绩效和居民绿色福利两方面考虑绿色转型绩效,记为 GD_{it} 。

指标构建框架如图 1 所示,第一阶段衡量宏观发展绩效,投入要素包括劳动、资本和能源,劳动要素以年末城镇单位就业人数衡量,固定资本存量计算同上文,能源投入以全社会用电量衡量。期望产出为以 2010 年为基期的各地区实际地区生产总值,非期望产出为各地区工业废水排放量、工业二氧化硫排放量、工业烟尘排放量和二氧化碳排放量,其中二氧化碳排放量来自 EDGAR 数据库,中间产出为国内生产总值。第二阶段考虑居民绿色福利,投入变量包括节能环保支出和医疗卫生投入,医疗卫生投入由各地区医生数表示,期望产出为城镇居民可支配收入,建成区绿化覆盖率和污水处理厂集中处理率,非期望产出为城市 PM2.5 浓度,数据来自国家青藏高原科学数据中心,同时指标其他数据来自《中国城市统计年鉴》、各地市统计年鉴和统计公报。

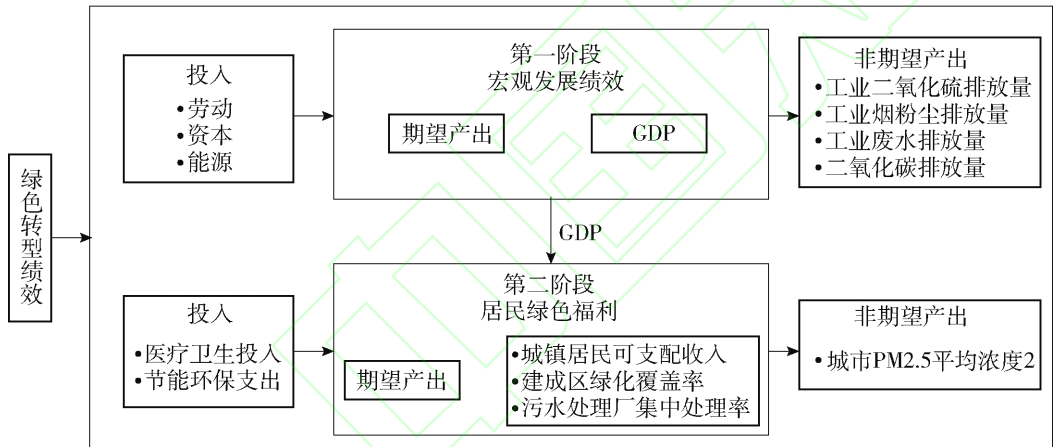


图1 绿色转型绩效指标框架

3. 机制变量

根据理论分析,本文选取资源配置效率作为机制变量,检验数字经济与实体经济深度融合对经济社会全面绿色转型的影响机制。资源配置效率反映了资本、劳动力等资源如何在不同产业、部门之间进行分配,进而实现最大化的产出或效用。数字经济和实体经济的深度融合降低了信息不对称程度,提高了要素供需匹配的精准程度和资源配置效率。同时,选取资源配置效率这一指标也在一定程度上反映了数据要素对其他要素的叠加效应。本文参考刘诚和夏杰长^[52]相关研究,在测算要素错配指数的基础上得到各地区资源配置效率。①在假定生产函数为柯布道格拉斯生产函数形式的技术上,得到资本和劳动的边际产出。②根据劳动和资本的边际产出与其价格的偏离得到劳动和资本错配指数,并最终得到总体错配指数。③用各城市当年的总体错配指数与本年度错配指数的最大值的比值衡量各城市的资源配置效率,比值越小说明当地的资源错配程度越低,资源配置效率越高,记为 $Alloca$ 。

4. 控制变量

为了对影响经济社会绿色转型的潜在因素加以控制,更为客观准确地衡量数字经济与实体经济融合的影响,且考虑变量之间的共线性问题,本文参考黄珊等^[45]相关研究并基于数据可得性,将

以下变量作为控制变量纳入模型考虑当中:经济发展水平,由环境库兹涅茨曲线假说可知,经济发展和当地环境污染程度有很强的相关性,用人均实际地区生产总值衡量各地区的经济发展状况,并记为 $lnpGDP$;城镇化水平,城镇化水平反映了当地的经济活动密度和基础设施建设,本文参考邝嫦娥和狄亚轩^[7]研究,使用城镇人口与总人口的比值表示,记为 $Urban$;政府治理水平,能够反映政府的宏观调控能力,使用各城市地方财政一般预算内支出与地方生产总值的比值表示,记为 Fis ;产业结构,使用各城市第二产业产值占 GDP 的比重表示,记为 $Indu$;金融发展水平,使用各城市金融机构年末存贷款余额与地区生产总值的比值表示,用来控制各城市金融发展水平不同对地区绿色转型绩效的影响,记为 Fin ;环境规制水平,不同的环境规制水平,很大程度上影响了一个地区的污染水平和经济发展状况,参考陈诗一和陈登科^[53]的相关研究,使用文本分析法考虑各地区政府工作报告中与环保相关的关键词的词频占比作为代理变量,记为 $Regu$ 。

(三) 样本与数据说明

本文针对 2011—2021 年中国 244 个地级市数据展开研究,鉴于数据可得性,不包括港澳台和西藏自治区数据,另外不包括部分新增或裁撤行政区数据^①,最终得到 2 684 个“城市-年份”均衡面板观测值。使用数据主要来自《中国城市统计年鉴》、各地市统计年鉴和统计公报,其他数据随文说明,缺失数据由插值法或均值法补齐,变量描述性统计见表 2。

表 2 各变量描述性统计

变量	定义	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
GD	绿色转型绩效	2 684	0.300	0.138	0.075	1.000
DS	数实融合水平	2 684	0.257	0.078	0.143	0.807
$Alloca$	资源配置效率	2 684	0.667	0.165	0.004	1.000
$Market$	市场一体化	2 684	12.111	2.377	4.960	19.910
$Treat$	数字治理	2 684	0.283	0.450	0.000	1.000
$lnpGDP$	经济发展水平	2 684	10.767	0.573	8.773	13.056
$Urban$	城镇化水平	2 684	0.565	0.147	0.181	1.000
Fis	政府治理水平	2 684	0.198	0.097	0.044	0.741
$Indu$	产业结构	2 684	0.455	0.110	0.107	0.821
Fin	金融发展水平	2 684	2.521	1.227	0.588	21.302
$Regu$	环境规制水平	2 684	0.833	0.290	0.108	2.609

四、实证分析

(一) 基准回归结果

为了验证数字经济与实体经济融合对绿色转型绩效的影响,本文首先进行了基准回归分析,回归结果见表 3。其中,表 3 第(1)列没有添加控制变量,第(2)列、第(3)列和第(4)列为依次添加控制变量的结果,模型都控制了时间固定效应和城市固定效应,第(4)列添加了全部控制变量,为本文基准回归结果。由回归可知,不管是否添加了控制变量,结果都显著为正,数字经济和实体经济融合能够促进绿色转型绩效提高,假说 H1 得到验证。在控制了经济发展水平、城镇化水平、产业结构、金融发展水平、政府治理水平和环境规制水平之后,数字经济与实体经济融合程度每提升 1 个单位,绿色转型绩效提高 1.192 个单位,且在 1% 水平下显著。其可能的原因在于,一是,数字经济

① 各地区实体经济数据为笔者手工整理,如辽宁和广西大部分城市,存在缺失现象,具体名单留存备案

8

与实体经济的深度融合能够实现对传统行业的数字化改造,提高投入产出效率,带动整个行业的绿色转型。二是,数字经济与实体经济的深度融合,带来了商业模式和应用场景的创新,实现了供需之间的精准匹配,降低资源消耗的同时满足消费者的绿色需求,促进绿色转型绩效提高。

表3 数实融合影响绿色转型绩效的基准回归结果

变量	绿色转型绩效			
	(1)	(2)	(3)	(4)
数实融合水平	1.038 ^{***} (0.268)	1.177 ^{***} (0.217)	1.128 ^{***} (0.214)	1.192 ^{***} (0.213)
经济发展水平		-0.117 ^{***} (0.018)	-0.139 ^{***} (0.021)	-0.124 ^{***} (0.023)
城镇化水平		-0.157 ^{**} (0.068)	-0.151 ^{**} (0.067)	-0.151 ^{**} (0.065)
产业结构			0.127 [*] (0.072)	0.137 [*] (0.073)
金融发展水平			-0.007 [*] (0.004)	-0.009 ^{**} (0.004)
政府治理水平				0.161 [*] (0.091)
环境规制水平				-0.009 (0.007)
常数项	0.0402 (0.0575)	1.306 ^{***} (0.196)	1.495 ^{***} (0.224)	1.303 ^{***} (0.253)
时间固定效应	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是
样本观测值	2684	2684	2684	2684
adj. R ²	0.275	0.331	0.337	0.341

注:***、**、*分别代表1%、5%和10%的显著性水平,括号内报告的为稳健标准误,下表同。

(二) 内生性检验

在基准模型中,本文选取宏观发展变量、城市特征变量、个体和时间固定效应来控制不可观测因素对模型结果的影响,但模型中仍然可能存在内生性问题:一是模型无法控制所有同时影响数字经济与实体经济融合水平以及绿色转型绩效的因素,存在遗漏变量的问题;二是数字经济与实体经济融合水平以及绿色转型绩效之间可能存在双向因果的问题,绿色转型绩效的提高可能反过来要求数字经济与实体经济进一步融合。为了克服以上内生性问题,本文在选取工具变量的基础上使用两阶段最小二乘法进行回归估计。本文参考石玉堂等^[30]相关研究,使用本省份其他城市数实融合水平的均值作为本城市数实融合水平的工具变量^①(IV1),一是,同一省份往往具有政策和制度的一致性,同时由于竞争机制的存在,同一省份其他城市数实融合水平与本城市数实融合水平具有高度相关性,二是,同一省份其他城市数实融合水平并不直接影响本城市绿色转型绩效,满足工具变量要求,结果见表4第(1)列和第(2)列。第(1)列为第一阶段回归结果,说明数实融合水平与工具变量之间具有高度相关性,由第(2)列结果可知,在考虑了内生性问题之后,数字经济与实体经济融合对绿色转型绩效的回归系数依然在1%水平上显著为正。同时,本文参考易行健等^[54]相关

① 对于直辖市,出于数据完整性考虑,依然保留原值进行分析。

研究,使用数字经济与实体经济融合滞后一期变量作为工具变量(IV2),最终结果见表4第(3)列和第(4)列。使用滞后一期数据在一定程度上可以缓解内生性问题,同时通过了外生性和相关性检验,由回归结果可知,在使用工具变量之后,数字经济与实体经济融合对绿色转型绩效的回归系数依然显著为正,说明在考虑内生性问题的情况下,数字经济与实体经济融合能够提高绿色转型绩效这一结论具有可靠性,假说H1进一步得到验证。

表 4 工具变量结果

变量	工具变量一		工具变量二	
	(1)	(2)	(3)	(4)
	第一阶段	第二阶段	第一阶段	第二阶段
工具变量	0.819*** (0.032)		0.817*** (0.027)	
数实融合水平		1.089*** (0.238)		1.245*** (0.166)
Kleibergen LM 统计量	27.058 [0.000]		105.10 [0.000]	
Kleibergen rk F 统计量	642.720 {16.38}		903.48 {16.38}	
控制变量	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是
样本观测值	2 684	2 684	2 440	2 440
adj. R ²		0.345		0.373

注:[]内为 p 值,{ }内为 Stock-Yogo 弱识别检验 10% 水平下的临界值。

(三) 稳健性检验

1. 更换被解释变量

本文使用网络 SBM 模型测度地区绿色转型绩效,为了保证回归结果稳健性,不受变量选取等因素影响,本文参考王亚飞和陶文清^[55]相关研究,使用绿色全要素生产率指标替换本文被解释变量,投入要素包括劳动、资本和能源,期望产出为以 2010 年为基期的各地区实际地区生产总值,非期望产出为各城市工业废水排放量、工业二氧化硫排放量和工业烟尘排放量,最终结果见表 5 第(1)列。由结果可知,当更换被解释变量之后,解释变量的回归系数在 1% 显著性水平下显著为正,进一步说明了研究结论的稳健性,即数实融合能够促进绿色转型绩效提高。

2. 更换解释变量

为保证最终结果的可靠性,本文进一步参考周密等^[56]相关研究,利用技术—产业之间的对应关系,使用城市专利数据衡量地级市数实融合程度,最终结果见表 5 第(2)列。当更换解释变量之后,解释变量的回归系数在 1% 显著性水平下显著为正,数字经济与实体经济融合水平的提高能够促进城市绿色转型绩效提高,研究结论具有稳健性。

3. 普通地级市样本

中国幅员辽阔,地级市众多,且拥有不同的行政级别,如直辖市、副省级城市、省会城市和普通地级市。不同行政级别城市产业结构和经济发展阶段存在一定差异,且行政级别较高的城市通常具有较高的人口规模和市场规模,同时也具有更高的治理能力和资源配置能力,可能会对最后的回归结果产生一定的影响。本文在仅保留普通地级市样本的基础上进行回归分析,最终结果见表 5 第(3)列。在剔除行政级别较高的城市干扰之后,解释变量的回归系数依然显著为正,数字经济与

实体经济融合能够带动城市绿色转型水平的上升,结论具有稳健性。

4. 高维固定效应

回归分析仅控制城市固定效应和时间固定效应,而中国省级区划众多,不同省份可能在经济发展水平、资源和产业结构方面存在显著差异,与此同时,同一省份之间往往具有政策和制度的一致性,控制省份固定效应在排除城市差异的同时,可以更好地捕捉这些宏观政策和制度对经济和环境的影响,在简化模型的同时,提高回归结果的稳健性。本文对全部样本控制省份固定效应和时间固定效应进行回归,最终结果见表5第(4)列。在控制了省份和时间联合固定效应之后,解释变量的回归系数依然显著为正,结论具有稳健性。

表5 稳健性检验结果(一)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	更换被解释变量	更换解释变量	普通地级市	高维固定	改变样本期
数实融合水平	1.087 *** (0.192)	0.002 *** (0.000 2)	0.626 ** (0.316)	0.346 * (0.202)	0.896 *** (0.232)
控制变量	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是
样本观测值	2 684	2 684	2 321	2 684	2 196
adj. R ²	0.495	0.357	0.265	0.457	0.190

5. 改变样本期

本文基准回归对2011—2021年全部样本验证数实融合能否促进地区绿色转型,而2020年及之后的数据可能受疫情的影响。一是疫情的发生改变了经济环境和社会行为,二是疫情冲击改变了人们对传统化石能源的需求和新能源产业的兴起,可能会对最后的回归结果产生一定的影响。本文仅对2011—2019年数据样本进行回归从而验证研究假说,最终结果见表5第(5)列。在改变了研究样本期之后,解释变量的回归系数依然显著为正,数字经济与实体经济融合能够促进城市绿色转型水平的提升,结论具有稳健性。

6. 缩尾检验

本文基准回归对2011—2021年全部样本验证数实融合能否促进绿色转型绩效提高,而地级市样本可能存在极端值或异常值,通过对数据进行缩尾处理,一是可以剔除不合理的极端值,使结果更为准确的反映真实的经济和社会状况,二是对数据进行缩尾处理有助于使数据更接近正态分布,增强模型的解释力。本文对2011—2021年全样本数据进行两侧1%缩尾处理,最终结果见表6第(6)列。在对数据进行缩尾处理之后,解释变量的回归系数依然显著为正,即在排除极端值的干扰之后,数字经济与实体经济融合依然能够促进城市绿色转型绩效的提升,验证了研究假说H1,结论具有稳健性。

7. 排除相关政策干扰

为准确识别数字经济与实体经济融合对绿色转型绩效的影响,本文尝试剔除相关政策的干扰,包括2016年实施的国家大数据综合试验区建设、2014年启动的“宽带中国”示范城市创建工作和2012年实施的“智慧城市”建设。这些政策实施带动了数字基础设施的建设和数字技术的应用,可能会对城市数字经济与实体经济融合和城市绿色转型产生影响。为避免政策实施导致的估计偏误,将上述变量依次纳入基准回归,最终结果见表6第(2)至(4)列。在排除相关政策干扰之后,数实融合对绿色转型绩效的影响依然在1%的显著性水平下显著为正,结论具有稳健性。

表 6 稳健性检验结果(二)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	缩尾处理	排除相关政策干扰		
	1. 192 *** (0. 213)	1. 146 *** (0. 198)	1. 111 *** (0. 204)	1. 114 *** (0. 203)
数实融合水平				
国家大数据综合试验区	否	是	是	是
宽带中国	否	否	是	是
智慧城市	否	否	否	是
控制变量	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是
样本观测值	2 684	2 684	2 684	2 684
adj. R ²	0. 341	0. 342	0. 342	0. 343

五、进一步讨论

(一) 机制分析

基准回归分析表明,数字经济和实体经济融合能够促进绿色转型绩效的提高,而数实融合影响绿色转型绩效的作用机制还有待于进一步研究。基于前文理论分析,本文从资源配置优化视角考虑数字经济与实体经济融合影响绿色转型绩效的传导机制。数字经济与实体经济融合能够提高资源配置效率进而促进绿色转型绩效提高。一是,如果资源被错误配置在不合适的地方,如资源配置倾向于高污染和高能耗的行业时,或资源错配使得企业无法获得充足的资金或技术支持,在影响绿色技术发展的同时会导致污染增加和能耗上升,不利于城市绿色转型。二是,如果资源分配不当,污染严重的企业集中在环境承载力较低的地区,会进一步加剧污染,而当资金技术人才等资源进一步在富裕地区集中,资源错配可能会放大社会不平等,进而影响整体绿色转型。与此同时,数字经济与实体经济融合能够打破传统行业信息不对称的壁垒,而数字平台的发展能够进一步整合分散的资源供给,实现跨区域资源的最优配置。本文在构建资源配置效率代理变量的基础上,进一步研究其影响路径,回归结果见表 7 第(1)列和第(2)列。由表 7 第(1)列可知,资源配置效率对绿色转型绩效的回归系数显著为负,资源错配不利于绿色转型绩效提高。由表 7 第(2)列可知,解释变量的回归系数显著为负,数字经济与实体经济的融合降低了资源错配程度,即提高了资源配置效率。数字经济与实体经济融合推动了数字要素的快速发展,实现了企业生产和管理的自动化,提高了生产效率的同时降低了人力成本,而平台经济的兴起,数据要素广泛参与生产经营活动,进一步降低了信息不对称程度,提高了资源配置效率,进而促进经济社会全面绿色转型。

(二) 调节效应分析

1. 市场一体化水平的调节作用

由前文分析可知,数字经济与实体经济融合能够促进城市绿色转型绩效提高,而其重要途径就是提高资源配置效率,而市场一体化水平的提高在其中发挥着重要的调节作用。一是,市场一体化水平的提高降低了地区间的交易成本和信息壁垒,使得资源、资本和技术能够在更大范围内流动,在一个统一的市场环境下,数字经济与实体经济结合能够更高效地配置资源,进而促进城市绿色转型。二是,市场一体化促进了区域间的技术交流和知识共享,数字经济与实体经济的融合使得绿色技术能够跨区域迅速传播,而市场一体化水平的提高加速了这一过程,推动绿色技术进一步的普及应用,提高城市绿色转型绩效。同时,市场一体化水平提高有助于减少政策和市场准入壁垒,为绿

表7 数实融合影响绿色转型绩效的机制分析

变量	资源配置效应		调节效应	
	(1)	(2)	(3)	(4)
	绿色转型绩效	资源配置效率	绿色转型绩效	绿色转型绩效
数实融合水平		-1.442 *** (0.205)	0.499 ** (0.250)	1.057 *** (0.206)
资源配置效率	-0.168 *** (0.031)			
市场一体化			-0.008 (0.005)	
数字治理				-0.308 *** (0.092)
数实融合水平市场一体化			0.131 *** (0.0298)	
数实融合水平数字治理				0.395 * (0.227)
控制变量	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是
个体固定	是	是	是	是
样本观测值	2 684	2 684	2 684	2 684
adj. R ²	0.333	0.154	0.368	0.349

色产业发展提供了更为公平和高效的环境,从而促进了绿色技术和绿色产业的发展,促进了产业绿色转型。本文参考赵云辉等^[57]的研究方法得到市场一体化水平的代理变量,最终结果见表7第(3)列。由结果可知,数实融合和市场一体化水平的交互项回归系数显著为正,市场一体化水平发挥着正向调节作用。

2. 数字治理的调节作用

数字经济与实体经济融合促进城市绿色转型绩效提高离不开数字治理的作用。一是,政府提高数字治理水平能够提高政策执行效率,数字治理提供了实时数据监测和反馈机制,使得政府可以随时掌握环境质量、资源使用和能源消耗的情况,在切实掌握数据的同时,政府可以制定差异化的发展策略,使得政策执行更具精准性和高效性,确保数实融合能够真正促进绿色转型。二是,政府通过电子政务和公共数据平台增加信息的公开性和透明度,能够更快速地向企业传达创新激励政策,激励企业加快数字化和绿色技术的开发和应用,同时,数字治理平台提供了反馈渠道,公众可以通过这些平台参与到环境保护和政策监督中,推动城市绿色转型绩效提高。从2018年开始国家在北京、上海、江苏和浙江等地区开展电子政务综合试点,旨在加快数字政府建设,提高政府数字治理能力。本文以电子政务综合试点城市考察地区数字治理水平,构造数字治理与数实融合水平的交互项,最终结果见表7第(4)列。由结果可知,数字治理与数实融合水平的交互项回归系数显著为正,数字水平发挥着正向调节作用,数字治理水平的提高有助于城市绿色转型绩效提高。

(三)异质性分析

1. 数字鸿沟

数字鸿沟是影响城市绿色发展的另一重要因素。数字技术发展日新月异,不同城市在信息获取、技术接入和应用方面存在巨大差距,不管是数字基础设施建设落后还是数字技术获取和应用存在困难都会加大城市绿色转型难度。2011年、2014年和2017年国家分别公布国家电子商务城市

示范名单,鼓励各地区优化资源配置,加快产业升级,发展绿色经济。本文以电子商务示范城市衡量地区数字基础设施建设,其中电子商务示范城市为1,非示范城市为0,分样本考察数字鸿沟对地区绿色转型绩效的影响,最终结果见表8第(1)列和第(2)列。由结果可知,不论是对于电子商务示范城市还是非示范城市,解释变量的回归系数都在1%水平上显著为正,数实融合对地区绿色转型绩效有显著的提升作用,同时,相较于非示范城市,电子商务示范城市有更高的回归系数。究其原因,相较于非电子商务示范城市,电子商务示范城市通常具备较高的数字化水平,并积极采用绿色技术和智能化管理系统,这些技术有助于提高资源使用效率、降低碳排放,并推动绿色产业发展。同时,电子商务示范城市通常具有完善的数字平台,可以将信息流、资金流、物流等各种资源高效地调度和配置,可以更加精准地进行绿色资源的配置和优化,减少资源浪费和环境污染。非电子商务示范城市往往在数字基础设施建设上相对滞后,缺乏有效的数字平台来促进绿色技术的应用。此外,对于非电子商务示范城市,数字平台和电子商务市场可能相对较小,消费者的绿色消费意识和行动相对较弱,对绿色转型绩效的促进作用有待进一步提高。

2. 技术水平

数字经济与实体经济融合能够促进城市绿色转型绩效提高,但其中地区技术水平的差异一定程度上影响绿色转型进程。本文以各城市绿色发明专利申请数量代表各城市技术水平,根据各城市绿色发明专利申请中位数将研究样本分为高技术水平地区和低技术水平地区,探讨不同技术水平条件下数字经济与实体经济融合对绿色转型绩效影响的异质性结果,最终结果见表8第(3)列和第(4)列。相比较于低技术水平城市,技术水平更高的城市回归系数更高在1%水平下显著为正,对城市绿色转型绩效提高有更明显的促进作用,与此同时,技术水平相对较低的城市对绿色转型绩效的回归系数虽然为正但不显著。究其原因,技术水平更高的城市有更高的技术吸收与再创造能力,同时,技术水平更高的城市通常有更完备的数字治理体系和配套产业,能够将数字技术转化为绿色产出。而技术水平较低的城市可能数字化基础弱,有更高的绿色转型成本,同时数字平台建设并不完备,即使引入数字化手段,短期对绿色转型绩效提高并没有明显的促进作用。

3. 区域异质性分析

事实上,中国幅员辽阔,各地区资源禀赋和环境条件存在极大差异,同时,东部地区相对发达,中西部地区经济基础相对薄弱,而政策导向和实施效果也会存在一定差异,进而影响数字经济与实体经济的融合效果及对绿色转型绩效的促进作用。本文将研究样本划分为东部地区、中部地区和西部地区进行区域异质性检验,回归结果见表8第(5)至(7)列。数实融合对被解释变量的回归系数都为正,东部地区和西部地区数实融合对绿色转型绩效有显著的促进作用,而对于中部地区,回归系数虽然为正,数实融合对绿色转型绩效的促进作用并不显著。可能的原因在于,从基础设施和数字化能力看,东部地区数字经济起步早,平台经济、产业互联网、智能制造体系更完善,数字经济与实体经济融合程度更高,对地区绿色转型绩效有明显的推动作用。西部地区虽然整体发展相对滞后,但国家西部大开发、“东数西算”等战略投入巨大,在能源、资源、环境产业领域与数字化技术结合较紧密,产生明显边际效应,能够享受更为充分的“数字红利”,促进绿色转型。而中部地区数字基础设施建设相对滞后,无法形成集群效应,在政策倾斜力度和资源禀赋导向方面无法形成后发优势。同时,从产业结构看,中部地区以传统制造、重工业、能源加工与中低端制造业为主,产业数字化转型相对缓慢,对于数字技术应用相对滞后,同时绿色转型升级动力不足,限制了绿色发展潜力。

4. 资源异质性分析

资源型城市通常依赖资源开发,而非资源型城市可能具有多样化的产业结构,而其在生态保护和产业发展等方面往往也面临着不同的压力,对于资源型城市和非资源型城市,数字经济与实体经济融合对城市绿色转型绩效的作用效果是否相同,有必要展开具体分析。本文依据国务院全国资

源型城市名单将全部样本城市划分为资源型城市和非资源型城市并展开回归分析,最终的结果见表8第(8)列和第(9)列。对于资源型城市,数字经济与实体经济融合对城市绿色转型绩效的回归系数并不显著,对于非资源型城市,数实融合对被解释变量的回归系数在1%水平下显著为正,数字经济与实体经济融合能够促进地区绿色转型绩效的提高。一是,资源型城市往往依赖资源开采,数字技术的应用虽然一定程度上提高了开采效率,但是也带来了“反弹效应”,给环境治理和生态保护造成了更大的压力,二是,资源型城市发展存在路径依赖,往往面临着产业结构转型困难的问题,政府政策可能更倾向于资源开发而非绿色转型,数字技术的引入可能加重这种依赖,使得绿色转型目标难以实现。而对于非资源型城市,其在市场结构和产业调整方面更具有灵活性,能够更好地把握数字经济发展趋势,推动绿色产业和服务开发与应用。同时,非资源型城市政府往往会出台更多支持数字经济与绿色发展的政策,促进资源的高效利用和环境保护,从而更好地实现绿色转型目标。

表 8 异质性分析回归结果

变量	数字鸿沟		技术水平		区域异质性			资源异质性	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	示范市	非示范市	高	低	东部	中部	西部	资源型	非资源型
数实融合水平	1.312 *** (0.288)	1.171 *** (0.353)	1.147 *** (0.234)	0.251 (0.503)	1.258 *** (0.259)	0.222 (0.431)	1.249 *** (0.363)	0.156 (0.520)	1.286 *** (0.229)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是	是	是	是
个体固定	是	是	是	是	是	是	是	是	是
样本观测值	583	2101	1342	1342	968	1034	682	1056	1628
adj. R ²	0.284	0.380	0.550	0.174	0.511	0.436	0.139	0.283	0.383

六、研究结论与政策建议

数字经济与实体经济深度融合,以数字技术为重要抓手,以数据要素为驱动,是实现经济高质量发展的关键一环,数字经济和实体经济融合能否促进经济社会全面绿色转型,成为学界关注的热点问题。本文使用2011—2021年全国244个地级市面板数据,在测度数字经济与实体经济融合水平和城市绿色转型绩效的基础上,同时从理论和实证层面探讨了数字经济与实体经济融合对城市绿色转型绩效的影响和作用机理。研究发现:数字经济与实体经济融合对城市绿色转型绩效有显著的促进作用,这一结论在使用工具变量和稳健性检验之后依然成立。机制分析表明,数字经济与实体经济融合能够通过提高资源配置效率进而提高城市绿色转型绩效,而市场一体化和数字治理存在正向调节作用。异质性分析表明,数字鸿沟的存在一定程度上影响了城市绿色转型绩效,技术水平更高的城市能够享受更为明显的数字红利,区域异质性分析表明,东部地区和西部地区,数字经济与实体经济融合能够带来更为显著的促进作用,而中部地区数字基础设施和产业结构一定程度上影响了地区绿色转型。资源异质性分析表明,相较于资源型城市,非资源型城市数实融合对地区绿色转型的促进作用更为明显,资源型城市存在路径依赖,产业转型困难,而非资源型城市更加注重数字技术发展的环境红利。根据上述研究结论,为了实现经济发展和环境保护的双重目标,促进经济社会全面绿色转型,本文提出如下政策建议:

一是,重视数字经济和实体经济融合的基本特征,拓宽数字经济和实体经济融合深度与广度,

推动绿色转型。应进一步推动数字技术深度渗透,推动人工智能、物联网、区块链等技术在生产过程中的深度应用,打造智能工厂和数字孪生工厂,促进新兴绿色产业发展壮大,在重塑传统产业链的同时推动高污染、高能耗行业向低碳化、智能化方向转型,构建从基础设施、技术开发到应用推广的完整数字经济产业链条,推动产业协同发展。构建垂直化的数字服务生态,促进金融科技、智慧教育和互联网医疗的发展,在物流、金融、文化旅游等服务领域广泛应用数字技术,提升服务效率。明确数字经济和实体经济发展路径,在数字经济和实体经济融合初期,强化数字基础设施建设,夯实数字底座,鼓励支持引导企业投资数字技术实现绿色化转型;在发展中后期,完善数据要素市场建设,打通数据要素流通链条,建立跨部门数据共享机制和区域协同创新机制,形成示范性绿色产业链。

二是,重视数字经济和实体经济融合发展影响绿色转型的传导机制,完善数字平台和数据要素市场建设,加强数字治理。完善数据要素市场建设,应加快推进数据资产化,明确数据产权,确立政府、企业、个人“三元”产权框架,出台数字资产相应管理办法,推动数据作为无形资产参与企业生产经营活动;同时应加快数据交易平台建设,鼓励数据要素在节能减排、绿色供应链管理、环境监测等领域的深度应用,推动跨行业数据共享,实现不同行业、不同平台间的数据互联互通;加强数据交易立法建设,强化数据安全与隐私保护,降低数据泄露和滥用风险。加强数字平台建设,推动物流、金融、零售等平台协同发展,形成多领域协作的生态体系;通过数字平台构建区域绿色协同发展机制,实现资源跨区域共享;鼓励企业利用数字平台进行技术研发,充分发挥数据要素的赋能作用,提高资源配置效率。同时,应进一步提高政府治理能力,规范市场行为,数字技术助力环境监测、评估和治理,提高环境监管能力。

三是,重视数字经济和实体经济融合发展存在的异质性特征,加强数字基础设施建设,实现协同发展。首先应该正视数字鸿沟对城市绿色转型存在的影响,大力发展数字基础设施,推动传统网络设施的数字化、智能化改造,构建更加灵活高效的基础设施体系;加强中西部地区和资源型城市的数字化能力建设,推动数实融合在区域和行业的普及应用。同时,各地区应加强合作,搭建跨区域的合作平台,鼓励东部地区的数字经济企业在中西部地区设立研发中心、孵化器,推动数字技术向欠发达地区扩散,实现技术交流和资源共享,利用数字平台促进区域间绿色技术和资金对接,形成“东部技术输出+西部场景落地+中部制造承接”的协同发展模式。鼓励城市之间开展联合研究和项目,以城市群为基础,加强核心城市和周边地区的数字网络联通,推动数字经济与实体经济的融合,提升整体区域的可持续发展能力。

参考文献:

- [1] 洪银兴,任保平. 数字经济与实体经济深度融合的内涵和途径[J]. 中国工业经济, 2023(2): 5-16.
- [2] 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(1): 14-20.
- [3] 邬晓霞,张双悦. “绿色发展”理念的形成及未来走势[J]. 经济问题, 2017(2): 30-34.
- [4] 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(7): 1309-1322.
- [5] 程钰,王晶晶,王亚平,等. 中国绿色发展时空演变轨迹与影响机理研究[J]. 地理研究, 2019(11): 2745-2765.
- [6] 徐小鹰,田焱焱. 长三角城市群绿色发展水平的时空演变及趋势预测[J]. 长江流域资源与环境, 2022(12): 2568-2581.
- [7] 邝嫦娥,狄亚轩. 数实融合对城市发展方式绿色转型的影响[J]. 广东财经大学学报, 2025(2): 56-69.
- [8] BIAN Z, LIU J, ZHANG Y, et al. A green path towards sustainable development: The impact of carbon emissions trading system on urban green transformation development[J]. Journal of Cleaner Production,

2024, 442: 140943.

- [9] 刘锦涛, 张涛, 范秋芳, 等. 绿色投资效率与绿色经济发展: 来自“一带一路”的证据[J]. 统计研究, 2025(3): 47-59.
- [10] SHIRONITTA K. Global structural changes and their implication for territorial CO₂ emissions[J]. Journal of Economic Structures, 2016(1): 20.
- [11] 史利江, 李永宁, 李前锦, 等. 资源型地区地级市绿色发展水平的时空演变及影响因素——以山西省为例[J]. 经济地理, 2024(1): 77-87, 173.
- [12] 蒋金荷, 马露露, 于宪荣. 中国绿色经济转型评价及驱动因素研究[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2022(3): 123-141.
- [13] 王林珠, 孙艺欣, 徐德义. 绿色技术创新与高质量绿色发展的耦合协调与互动响应[J]. 技术经济, 2023(5): 1-15.
- [14] 邵帅, 范美婷, 杨莉莉. 经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展——基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察[J]. 管理世界, 2022(2): 46-69, 4-10.
- [15] DULAL H B, DULAL R, YADAV P K. Delivering green economy in Asia: The role of fiscal instruments[J]. Futures, 2015, 73: 61-77.
- [16] 何爱平, 安梦天. 地方政府竞争、环境规制与绿色发展效率[J]. 中国人口·资源与环境, 2019(3): 21-30.
- [17] 胡森林, 鲍涵, 郝均, 等. 环境规制对长三角城市绿色发展的影响——基于技术创新的作用路径分析[J]. 自然资源学报, 2022(6): 1572-1585.
- [18] 崔琳昊, 冯烽. 数实融合与城市经济韧性: 影响与机制[J]. 城市问题, 2024(4): 31-41.
- [19] 邓宗兵, 肖沁霖, 王炬, 等. 中国数字经济与绿色发展耦合协调的时空特征及驱动机制[J]. 地理学报, 2024(4): 971-990.
- [20] 寇冬雪, 张彩云, 张小溪. 企业数字化赋能企业绿色化转型的方式: 从信息披露到创新驱动[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2024(2): 48-66.
- [21] 欧阳日辉. 数据要素促进数字经济和实体经济深度融合的理论逻辑与分析框架[J]. 经济纵横, 2024(2): 67-78.
- [22] 何德旭, 张昊, 刘蕴霆. 新型实体企业促进数实融合提升发展质量[J]. 中国工业经济, 2024(2): 5-21.
- [23] 夏杰长, 苏敏. 以数实融合推动现代化产业体系建设[J]. 改革, 2024(5): 12-23.
- [24] 张姣玉, 徐政, 丁守海. 数实深度融合与新质生产力交互的逻辑机理、战略价值与实践路径[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2024(3): 114-124.
- [25] GUO D, LI L, PANG G. Does the integration of digital and real economies promote urban green total factor productivity? Evidence from China[J]. Journal of Environmental Management, 2024, 370: 122934.
- [26] YANG X, WANG H, YAN T, et al. The road to inclusive green growth in China: Exploring the impact of digital-real economy integration on carbon emission efficiency[J]. Journal of Environmental Management, 2024, 370: 122989.
- [27] MENG X N, XU S C, HAO M G. Can digital-real integration promote industrial green transformation: fresh evidence from China's industrial sector[J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 426: 139116.
- [28] WANG Y, SHI M, LIU J, et al. The impact of digital-real integration on energy productivity under a multi-governance framework: The mediating role of AI and embodied technological progress[J]. Energy Economics, 2025, 142: 108167.
- [29] YU B. The impact of the internet on industrial green productivity: evidence from China[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2022, 177: 121527.
- [30] 石玉堂, 王晓丹, 周十同. 数字经济与实体经济融合发展的就业效应研究[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2025(1): 36-55.

- [31] SUN G, FANG J, LI J, et al. Research on the impact of the integration of digital economy and real economy on enterprise green innovation[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2024, 200: 123097.
- [32] 陈艳利, 蒋琪. 数据生产要素视角下开放公共数据与企业创新——基于建立公共数据开放平台的准自然实验[J]. *经济管理*, 2024(1): 25-46.
- [33] 史丹. 数字经济条件下产业发展趋势的演变[J]. *中国工业经济*, 2022(11): 26-42.
- [34] MA D, ZHU Q. Innovation in emerging economies: Research on the digital economy driving high-quality green development[J]. *Journal of Business Research*, 2022, 145: 801-813.
- [35] 蔡跃洲, 牛新星. 中国数字经济增加值规模测算及结构分析[J]. *中国社会科学*, 2021(11): 4-30, 204.
- [36] SHEN N, ZHOU J, ZHANG G, et al. How does data factor marketization influence urban carbon emission efficiency? A new method based on double machine learning[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2025, 119: 106106.
- [37] RILEY C, VRBKA J, ROWLAND Z. Internet of things-enabled sustainability, big data-driven decision-making processes, and digitized mass production in industry 4. 0-based manufacturing systems[J]. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2021(1): 42-52.
- [38] 孙博文, 杨霄斐. 竞争政策的减污降碳协同效应——基于《反垄断法》实施的准自然实验[J]. *数量经济技术经济研究*, 2025(2): 172-194.
- [39] SCOTT MORTON F, BOUVIER P, EZRACHI A, et al. Committee for the study of digital platforms: Market structure and antitrust subcommittee report[J]. Chicago: Stigler Center for the Study of the Economy and the State, University of Chicago Booth School of Business, 2019, 36.
- [40] 陈斌开, 索昊. 市场一体化的测度、影响因素与经济效益: 研究评述与展望[J]. *北京交通大学学报(社会科学版)*, 2024: 1-10.
- [41] ANSELL C, GASH A. Collaborative governance in theory and practice[J]. *Journal of public administration research and theory*, 2008, 18(4): 543-571.
- [42] 颜佳华, 王张华. 数字治理、数据治理、智能治理与智慧治理概念及其关系辨析[J]. *湘潭大学学报(哲学社会科学版)*, 2019(5): 25-30, 88.
- [43] PANG G, LI L, GUO D. Does the integration of the digital economy and the real economy enhance urban green emission reduction efficiency? Evidence from China[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2025, 122: 106269.
- [44] 史丹, 孙光林. 数字经济和实体经济融合对绿色创新的影响[J]. *改革*, 2023, 2023(2).
- [45] 黄珊, 蒋金荷, 李均超. 数字经济赋能人与自然和谐共生的现代化——基于城市层面经济与环境协调视角[J]. *经济问题探索*, 2025(3): 86-105.
- [46] 张帅, 吴珍玮, 陆朝阳, 等. 中国省域数字经济与实体经济融合的演变特征及驱动因素[J]. *经济地理*, 2022(7): 22-32.
- [47] 黄贇琳, 秦淑悦, 张雨朦. 数字经济如何驱动制造业升级[J]. *经济管理*, 2022(4): 80-97.
- [48] 刘毛桃, 方徐兵, 李光勤. 政府数字关注与企业数字创新——来自政府工作报告文本分析的证据[J]. *中国经济学*, 2023(3): 111-142, 350-352.
- [49] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000[J]. *经济研究*, 2004(10): 35-44.
- [50] TONE K, TSUTSUI M. Network DEA: A slacks-based measure approach[J]. *European journal of operational research*, 2009(1): 243-252.
- [51] 邵帅, 葛力铭, 朱佳玲. 人与自然何以和谐共生: 地理要素视角下的环境规制与环境福利绩效[J]. *管理世界*, 2024(8): 119-146.
- [52] 刘诚, 夏杰长. 线上市场、数字平台与资源配置效率: 价格机制与数据机制的作用[J]. *中国工业经济*, 2023(7): 84-102.

- [53] 陈诗一,陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J]. 经济研究, 2018(2): 20-34.
- [54] 易行健,周利. 数字普惠金融发展是否显著影响了居民消费——来自中国家庭的微观证据[J]. 金融研究, 2018(11): 47-67.
- [55] 蔺鹏,孟娜娜. 绿色全要素生产率增长的时空分异与动态收敛[J]. 数量经济技术经济研究, 2021(8): 104-124.
- [56] 周密,王雷,郭佳宏. 新质生产力背景下数实融合的测算与时空比较——基于专利共分类方法的研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2024(7): 5-27.
- [57] 赵云辉,张哲,冯泰文,等. 大数据发展、制度环境与政府治理效率[J]. 管理世界, 2019(11): 119-132.

Integration of Digital Economy and Real Economy, Resource Allocation and Green Transformation Performance

WANG Hao¹, JIANG Jinhe^{2,1}

(1. Faculty of Applied Economics, University of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100102, China

2. Institute of Quantitative & Technological Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China)

Abstract: The deep integration of digital economy and real economy has triggered a systematic change from production factors to productivity and then to production relations, which is an important part of promoting the comprehensive green transformation of economic and social development. Based on the panel data of 244 prefecture-level cities across the country from 2011 to 2021, on the basis of constructing the level of integration of digital economy and real economy and the measurement indicators of urban green transformation performance, the influence and mechanism of digital-real integration on urban green transformation performance are studied from both theoretical and empirical levels. The study found that digital-real integration has a significant promoting effect on urban green transformation performance, and its important way is to improve the efficiency of resource allocation. At the same time, the level of market integration and digital governance have a positive regulatory effect. However, the heterogeneity analysis shows that the existence of the digital divide affects the performance of urban green transformation. Cities with high technological levels can enjoy more obvious digital dividends. Compared with the central region, the digital-real integration in the eastern and western regions can bring more significant promotion. Compared with resource-based cities, the digital-real integration of non-resource-based cities has a more obvious promoting effect on urban green transformation performance. Based on the above conclusions, policy recommendations are put forward to improve the performance of green transformation from the aspects of broadening the depth and breadth of the integration of the digital economy and the real economy, improving the construction of digital platforms and data markets, and promoting coordinated development.

Key words: integration of digital economy and real economy; green transformation performance; network SBM; resource configuration

(责任编辑:刘 凡)