第 34 卷第 2 期 2024 年 4 月
Vol. 34 No. 2 Apr. 2024

DOI:10. 3969/j. issn. 1674-8131. 2024. 02. 003

数字基础设施建设对城市土地绿色利用效率的影响

——基于“宽带中国”示范城市建设的准自然实验

边志强

（山西财经大学 资源型经济转型发展研究院，山西 太原 030006）

摘　要：数字基础设施的完善有助于提高土地使用的经济效益和环境效益，促使附着于土地上的生产活动实现增产和减污双重改善，从而显著提升土地绿色利用效率。采用 2006—2020 年我国 282 个地级及以上城市的面板数据，将“宽带中国”示范城市建设作为一项准自然实验，使用渐进双重差分模型分析发现：“宽带中国”示范城市建设显著提升了示范城市的土地绿色利用效率，且这一影响具有长期性、累积性与短期滞后性；数字基础设施建设可以通过促进绿色技术创新和推动产业结构升级两条路径来提升土地绿色利用效率，并存在明显的空间溢出效应，能够同时提升本地和周围地区的土地绿色利用效率；“宽带中国”示范城市建设对土地绿色利用效率的提升作用存在推广效应，并表现出东部地区比中西部地区更强、大规模城市和非资源型城市显著而中小规模城市和资源型城市不显著的异质性。因此，应加快数字基础设施建设，重视和发挥绿色技术创新和产业结构升级的中介作用以及空间溢出效应，因地施策，有效促进城市土地绿色利用效率持续提升。

关键词：数字基础设施；土地绿色利用效率；“宽带中国”战略；绿色技术创新；产业结构升级；空间溢出效应

中图分类号：F124. 5；F293. 2　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1674-8131(2024)02-0022-18

引用格式：边志强. 数字基础设施对城市土地绿色利用效率的影响——基于“宽带中国”示范城市建设的准自然实验[J]. 西部论坛，2024，34(2)：22-39.

BIAN Zhi-qiang. Impact of digital infrastructure construction on urban land green utilization efficiency：Quasi-natural experiment based on the construction of “Broadband China” demonstration cities[J]. West Forum, 2024, 34(2): 22-39.

* **收稿日期**：2023-11-20；**修回日期**：2024-01-17
基金项目：国家自然科学基金面上项目(72274114)；国家自然科学基金青年科学基金项目(72204151)
作者简介：边志强(1996)，男，山西清徐人；博士研究生，主要从事土地利用与低碳转型发展研究；E-mail：572148514@qq. com。

一、引言

目前,我国进入以降碳为重点战略方向之一、推动减污降碳协同增效、促进经济社会发展全面绿色转型、实现生态环境改善由量变到质变的关键时期。土地是“生产—生活—生态”三生空间的基本物质载体,其绿色利用效率是生产要素投入系统与土地利用产出系统在一定空间上的综合映射(卢新海 等,2020)[1]。在资源短缺以及生态环境约束趋紧的情况下,提升土地绿色利用效率不仅是优化国土空间布局、提高资源承载能力的重要路径,也是实现经济社会发展全面绿色转型的必然选择。城市是现代经济发展最重要的空间载体,各种生产要素的集聚使得城市在自身经济增长的同时带动区域、国家甚至超国家尺度的空间经济发展,然而城市的发展也会受到土地资源的约束。因此,提升城市土地绿色利用效率成为推动经济社会发展全面绿色转型的关键,深入研究影响城市土地绿色利用效率的各种因素以有效促进城市土地绿色利用效率提升也就成为重要的研究课题。

提升土地绿色利用效率,要在强调经济效益的同时更加注重土地利用对环境造成的影响,需要实现高效化与绿色化并进(姜旭 等,2023;梁流涛 等,2019)[2-3]。近年来,国内学者从多个方面对影响我国城市土地绿色利用效率的因素进行了实证分析,结果发现区域一体化及区域协同创新(陈丹玲 等,2021,2022)[4-5]、新型城镇化(张东玲 等,2022)[6]、数字经济发展(范翔宇 等,2023)[7]、产业结构升级(Chang et al. ,2023)[8]、科技创新(张瑞 等,2023)[9]、环保考核(卢新海 等,2023)[10]、智慧城市建设(Wang et al. ,2021)[11]、低碳试点政策(姜旭 等,2023)[2]、碳排放权交易政策(边志强 等,2023)[12]等均有助于提升城市土地绿色利用效率,而制造业集聚(Wang et al. ,2023)[13]以及环境规制(徐志雄 等,2021)[14]与土地绿色利用效率之间则表现为非线性的“U”型关系。然而,鲜有文献探究基础设施建设对城市土地绿色利用效率的影响。城市基础设施的完善为各类经济主体的生产经济活动提供了便利,有助于经济产出的增长,同时也可以节约资源和减少重复生产,从而有利于土地绿色利用效率的提高。尤其是随着数字经济的发展,数字基础设施的建设和完善为人们的生产生活带来了便利,也通过数字经济红利促进了经济、社会、生态效益增长。

数字基础设施作为数字经济等新经济业态成长与发展的战略基石(种照辉 等,2022)[15],已成为人类社会发展进步的共同需求。为缩小我国与发达国家之间的数字鸿沟,国务院于 2013 年 8 月发布《“宽带中国”战略及实施方案》,以宽带网络为典型代表的数字基础设施建设成为国家战略。为有效推进“宽带中国”战略,工信部和国家发改委于 2014 年批复 39 个城市(群)作为“宽带中国”示范城市(群),并于 2015 年和 2016 年分别遴选出 78 个城市(群)加入其中。“宽带中国”示范城市建设极大地促进了示范城市的数字基础设施建设,这为深入研究数字基础设施建设的各种经济社会生态效应提供了良好的准自然实验素材。现有文献也对此进行了多方面的研究,比如:在经济效应方面,从微观层面探究了“宽带中国”示范城市建设对企业的数字化转型(Jia et al. ,2023)[16]、技术创新(邱洋冬,2022)[17]、投资水平(孔东民 等,2023)[18]、劳动收入份额(胡浩然 等,2023)[19]以及农村人口代际收入向上流动(方福前 等,2023)[20]等的促进作用,从宏观层面分析了“宽带中国”示范城市建设对城市产业结构升级(马青山 等,2021;袁航 等,2022)[21-22]、合作创新及绿色创新(种照辉 等,2022;Feng et al. ,2023;辛大楞 等,2023)[15][23-24]、包容性增长(邓荣荣 等,2023;张涛 等,2023)[25-26]、绿色转型(姚璐 等,2023)[27]、高质量发展(马茜 等,2022)[28]以及缩小城乡收入差距(侯瑜 等,2023)[29]等的积极影响;在生态环境效应方面,探讨了“宽带中国”示范城市建设的生态效率改善效应(Zhong et al. ,2022)[30]、能源节约及提效效应(Hong et al. ,2023;陈怡安 等,2023)[31-32]、减污降碳效应(李广昊 等,2021;薛飞 等,2022)[33-34]等。

综上所述,学界关于数字基础设施建设的经济效应和土地绿色利用效率的影响因素研究已颇为丰富,但鲜有文献实证考察数字基础设施建设对城市土地绿色利用效率的影响。从已有相关研究的结论来看,数字基础设施建设有助于提升城市土地绿色利用效率,但对其影响机制还缺乏深入的认识,同时也缺少经验证据。有鉴于此,本文在已有研究的基础上,探讨数字基础设施建设影响城市土地绿色利用效率的内在机制,并将"宽带中国"示范城建设作为一项准自然实验,采用 2006—2020 年我国 282 个地级及以上城市的面板数据,在利用超效率 SBM 模型测度城市土地绿色利用效率的基础上进行实证检验。相比已有文献,本文的边际贡献主要在于:一是探讨并验证了数字基础设施建设通过促进绿色技术创新和推动产业结构升级来提升城市土地绿色利用效率的作用机制,丰富和深化了数字基础设施建设的经济效应研究,并有助于深入认识实现城市土地绿色利用效率提升的内在动力和有效路径;二是进一步探讨和验证了数字基础设施建设影响城市土地绿色利用效率的空间溢出效应、政策推广效应以及区位、规模、资源等维度的异质性,为各地区加快推进数字基础设施建设和有效提升城市土地绿色利用效率提供了经验借鉴和路径启示。

二、理论分析与研究假说

1. 数字基础设施建设对城市土地绿色利用效率的影响

数字基础设施建设能够从经济效益与环境效益两方面赋能城市土地绿色利用效率提升。首先,数字基础设施的完善有助于提升土地使用的经济效益。一方面,宽带网络等数字基础设施的普及和完善加速了城市经济社会发展的数字化、信息化和智能化转型,多维度的智慧管理不仅提升了城市治理效率,优化了公共服务,还催生出新的商业模式,从而拓宽了城市经济的增长空间。另一方面,数字基础设施建设为数字技术创新和发展提供了有力支撑,先进数字技术的应用促使企业可以快速响应市场需求,实现产品生产的自动调整和优化,并能够更加精细地协调生产经营的各个环节,从而实现资源的优化利用和生产效率的显著提升(马茜 等,2022)[28]。其次,数字基础设施建设可以带来减污降碳双重红利,提高土地使用的环境效益。数字基础设施的完善提高了城市环境监测的准确性和时效性,管理人员可以通过传感器、监控设备和数据分析工具等实时监测和分析各项城市环境指标,进而能够实现对城市环境的差异化、精准化管理。同时,数字基础设施的完善有利于居民生活观念和方式的绿色化转变,智能公共交通、共享自行车的普及以及交通信息的实时传递不仅能够更好地满足居民的绿色出行需求,还可以帮助居民规划出行路线,减少交通拥堵,避免不必要的能源消耗和环境污染。最后,在经济效益和环境效益的共同加持下,附着于城市有限土地上的生产活动可以实现产出和减污的双重改善,从而显著提升土地绿色利用效率(姜旭 等,2023)[2]。

基于上述分析,本文提出假说 1:"宽带中国"示范城市建设显著促进了示范城市的土地绿色利用效率提升。

2. 绿色技术创新的中介作用

波特的创新理论指出,技术创新是推动经济增长最重要的驱动力。相关研究证实,技术创新不仅能够提升产出能力,而且可以有效降低污染物排放,尤其是绿色技术创新更能够进一步从生产端和消费端降低能源消耗,促进清洁能源的高效利用,使得附着于土地的生产活动在经济效益和环境效益两方面都得到有效改善,从而提升土地绿色利用效率(姜旭 等,2023;陈怡安 等,2023)[2][32]。而数字基础设施建

设则能够显著促进城市绿色技术创新。在“宽带中国”示范城市建设过程中,示范城市积极制定并落实关键技术研发、智能终端研制以及重点新产品项目产业化等方面的激励政策和推进措施,使得政府的科技支出和企业的研发投入持续增长,城市人力资本水平也不断提升,带动了清洁能源、环境治理和资源回收利用等领域的绿色技术创新。此外,“宽带中国”示范城市建设带来的城市信息化水平提升效应还能够改善创新要素投入的配置效率,对绿色技术创新产生持续且动态增强的促进效应(Feng et al.,2023;辛大楞 等,2023)[23-24]。因此,数字基础设施建设能够通过促进绿色技术创新来增强城市的产出能力与减污能力,最终促进城市土地绿色利用效率的有效提升。

基于上述分析,本文提出假说2:“宽带中国”示范城市建设能够通过促进绿色技术创新的路径提升示范城市的土地绿色利用效率。

3. 产业结构升级的中介作用

产业结构是影响经济增长的重要因素,尤其是在经济由高速增长转向高质量发展的背景下,产业结构升级在推动经济高质量发展方面更是扮演着重要角色(甘清华 等,2021)[35],相关文献也验证了产业结构升级对土地绿色利用效率的积极影响(姜旭 等,2023;Chang et al.,2023)[2][8]。具体来看,传统产业的转型升级以及新兴产业的成长壮大往往伴随着更为先进的生产技术和严格的环境标准,在此过程中,高污染、高能耗企业被迫退出市场,资本、劳动力等生产要素得到更高效地利用,生产活动对土地资源的依赖程度也得以降低(Chang et al.,2023)[8],从而实现土地利用系统中产出增长与污染降低的双重目标,对土地绿色利用效率产生积极影响。而数字基础设施建设能够有效推动城市产业结构升级。一方面,得益于数字基础设施完善带来的联通性和共享性优势,传统产业内部分工更加细致,智能化和专业化程度不断提高(牛子恒 等,2021)[36],推动了传统产业向低污染、低能耗、高附加值方向转型升级;另一方面,数字基础设施的完善带动了数字经济发展,促进了人工智能以及大数据等新兴产业的迅速壮大,在规模效应和结构优势的加持下,这些新兴产业的发展提高了资源利用效率,并实现了更快的利润增长(马茜 等,2022)[28]。因此,数字基础设施建设能够赋能传统产业转型与新兴产业发展,进而通过推动城市产业结构高级化来促进土地绿色利用效率提升。

基于上述分析,本文提出假说3:“宽带中国”示范城市建设能够通过推动产业结构升级的路径提升示范城市的土地绿色利用效率。

4. 数字基础设施建设影响土地绿色利用效率的空间溢出效应

数字基础设施建设能够产生显著的空间溢出效应,同时促进本地和周围地区的土地绿色利用效率提升。一方面,数字基础设施建设能够通过知识溢出、示范带动等途径产生正向溢出效应。数字基础设施的完善以及数字技术的应用进一步打破了生产要素流动的时空限制,显著促进了知识扩散和技术创新成果溢出(姚璐 等,2023;马茜 等,2022)[27-28];同时,数字基础设施较为完善的城市往往具有较为先进的城市管理模式,其成功经验会在周围地区产生示范效应,为周围城市的发展提供经验借鉴和参考,从而促进周围城市的数字基础设施完善、智能化管理、技术创新以及产业结构升级等,这将有效提高周围城市土地使用的经济效应与环境效益。另一方面,土地绿色利用效率本身也存在空间溢出。在新发展阶段,政府更加强调经济发展的质量,环境保护和治理在地方政府绩效考核中所占的比重越来越大,土地绿色利用效率较高的城市在经济发展中更好地实现了“绿色化”与“高效化”共赢(姜旭 等,2023;梁流涛 等,2019)[2-3],其他地区为了在竞争中获胜,会积极采取占优的环境策略来实现“趁机赶超”(李子豪

等,2023)[37],同时也将致力于通过绿色技术创新、产业结构升级等方式实现经济的高质量发展,从而带动土地绿色利用效率的提升。

基于上述分析,本文提出假说4:“宽带中国”示范城市建设存在明显的空间溢出效应,能够在提高示范城市自身土地绿色利用效率的同时促进周围城市土地绿色利用效率的提升。

三、实证研究设计

1. 基准模型设定

为检验数字基础设施建设对城市土地绿色利用效率的影响,本文将“宽带中国”示范城市建设视为一项准自然实验,采用双重差分模型来进行政策效应评估。由于该政策于2014、2015和2016年分批推行,构建如下渐进双重差分模型:

$$Lgue_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Did_{it} + \sum \rho control_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

其中,下标 i 和 t 分别代表城市和年份,α_0 为常数项;μ_i 和 λ_t 分别表示地区固定效应和时间固定效应;ε_{it} 为残差项。

被解释变量($Lgue_{it}$)为“土地绿色利用效率”,参考Tone(2002)[38]的研究,采用超效率SBM模型进行测度。借鉴相关研究的做法(梁流涛 等,2019;陈丹玲 等,2021;卢新海 等,2022)[3-4][39],选取以下投入产出指标:土地要素投入采用建成区面积来衡量,资本要素投入采用基于永续盘存法计算的固定资本存量来衡量(张军 等,2004)[40],劳动要素投入采用二三产业从业人员数来衡量,能源要素投入采用能源消耗量来衡量(天然气、液化石油气和用电量折算为标准煤);期望产出采用二三产业增加值来衡量;非期望产出包括污染物排放量和碳排放量两项指标,其中污染物排放量根据工业废水、烟尘和二氧化硫排放量通过熵值法计算得到(姜旭 等,2023)[2],碳排放量包括直接能源消耗产生的碳排放(如天然气、液化石油气等)和电能及热能消耗产生的碳排放(吴建新 等,2016;郭沛 等,2022)[41-42]。各指标的具体计算方法可参见相关文献(梁流涛 等,2019)[3]。

核心解释变量(Did)为“数字基础设施建设”,采用是否为“宽带中国”示范城市的双重差分项(以下简称“宽带示范城市”)作为代理变量。如果 i 城市在 t 年被纳入“宽带中国”示范城市,则赋值为1,否则赋值为0。

控制变量。参考徐志雄等(2021)[14]、范翔宇等(2023)[7]、王斯亮和陈欣(2022)[43]的研究,选取如下控制变量($control_{it}$):一是“经济发展水平”,采用人均实际GDP的自然对数值来衡量。经济发展水平较高的城市通常能够投入更多的资金、以更大的政策力度来推动技术创新、土地整治和环境治理等,因而经济发展水平提高有助于土地绿色利用效率提升。二是“产业结构”,采用第三产业产值占GDP的比重来衡量。一般而言,相较于制造业,服务业发展在创造较高的经济效益的同时所产生的土地占用、资源消耗和污染排放较少,因而产业结构升级会对土地绿色利用效率产生积极影响。三是“对外开放程度”,采用实际利用外商直接投资额与GDP的比值来衡量。对外开放程度的提高可能会因过度追求短期经济效益而产生低质量的引资行为,导致土地利用不合理、环境污染的状况加剧,从而抑制土地绿色利用效率。四是“环境规制强度”,采用27个与环境保护相关的特征词在样本城市政府工作报告中的词频来衡量(张建鹏 等,2021)[44]。环境规制增强可能会增加企业的成本负担,对技术创新与产业升级造成一定压力,进而对土地绿色利用效率产生一定程度的负面影响。五是“城市人口密度”,采用单位面积人口数量的自然对数值来衡量。较高的人口密度意味着对土地利用效率的要求更高,为了有效利用土

地,需要进行合理规划,采取高层建筑、集约化利用等措施来节省土地使用面积,进而有利于提高土地绿色利用效率。

2. 样本选择与数据处理

基于数据的可获得性及完整性,本文选取 2006—2020 年我国 282 个地级及以上城市的面板数据作为研究样本。其中,“宽带中国”示范城市的名单来自工业和信息化部官网,其余数据来自《中国城市统计年鉴》和《中国城市建设统计年鉴》以及政府工作报告等官方文件或网站,个别缺失数据根据平均增长率补齐。在 282 个样本城市中,选取 104 个城市作为处理组,其中,第一批示范城市 34 个、第二批示范城市 36 个、第三批示范城市 34 个,其余 178 个城市作为控制组。主要变量的描述性统计结果如表 1 所示。

表 1　主要变量的描述性统计结果

变　量		样本量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	土地绿色利用效率	4 230	0. 239	0. 139	0. 055	1. 075
核心解释变量	宽带示范城市	4 230	0. 148	0. 355	0. 000	1. 000
控制变量	经济发展水平	4 230	10. 303	0. 697	7. 926	12. 346
	产业结构	4 230	0. 399	0. 100	0. 086	0. 839
	对外开放水平	4 230	0. 018	0. 020	0. 000	0. 210
	环境规制强度	4 230	0. 003	0. 001	0. 000	0. 012
	城市人口密度	4 230	5. 726	0. 968	1. 623	9. 086

图 1 描绘了 2006—2020 年样本城市土地绿色利用效率的变化情况。从整体趋势来看,全部城市、示范城市以及非示范城市的土地绿色利用效率水平都呈现类似的波浪式上升态势,表现为在 2006—2012 年和 2014—2019 年这两个时间段内稳步上升,而在 2013 年、2014 年和 2020 年出现明显下降。从示范城市与非示范城市的比较来看,在研究期内,示范城市的土地绿色利用效率均明显高于非示范城市;在 2014—2019 年,示范城市的土地绿色利用效率从 0. 255 上升为 0. 367,提升幅度达到 43. 922%,而非示范城市的这一幅度为 31. 579%,表明在“宽带中国”示范城市建设期间,示范城市与非示范城市的土地绿色利用效率差距趋于扩大。

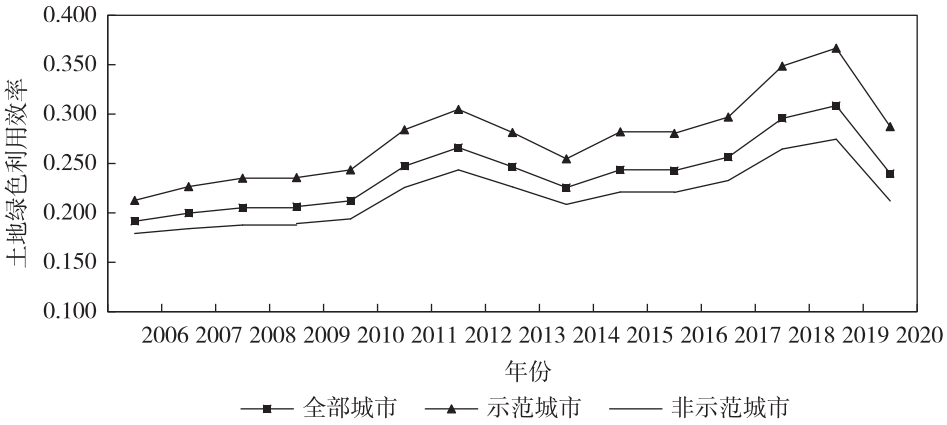


图 1　2006—2020 年城市土地绿色利用效率均值演变趋势

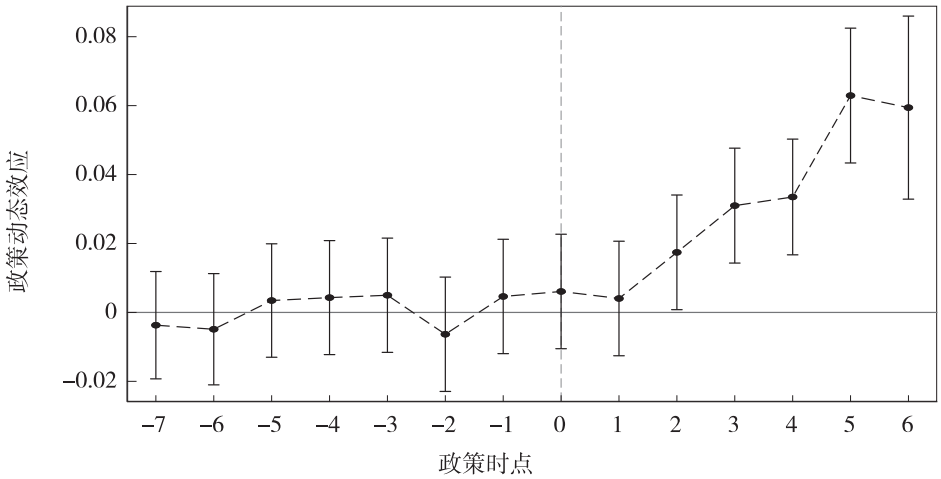
四、实证检验结果分析

1. 基准模型回归

使用双重差分法进行政策效应分析需要满足平行趋势假设,即在政策实施前处理组与控制组的土地绿色利用效率应具有一致的变动趋势。为此,本文采用事件研究法进行平行趋势检验和动态效应分析(郭沛 等,2022;白俊红 等,2022)[42][45],构建如下计量模型:

$$Lgue_{it} = \varphi_0 + \sum_{k=-7}^{k=6} \varphi_k D_{it}^k + \sum \rho control_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

其中,D_{it}^k 代表一系列虚拟变量(包含政策实施前 7 年、当年和后 6 年),非示范城市均赋值为 0①,其系数 φ_k 反映了示范城市建设第 k 年时处理组和控制组的土地绿色利用效率差异。检验结果见图 2:在政策实施前,回归系数均不显著且聚集在 0 值附近,表明处理组和控制组之间满足平行趋势假设,适合进行双重差分分析;在政策实施当年及第 1 年,回归系数也不显著;从政策实施后的第 2 年开始,回归系数显著为正,且除第 6 年(2020 年)外持续增大。上述结果表明,“宽带中国”示范城市建设对城市土地绿色利用效率的影响具有长期性和累积性,但同时也存在两年左右的短期滞后性。其原因在于,数字基础设施具有功能网络性特征,只有当完全竣工或者达到一定规模以后才能够发挥价值(袁航 等,2022)[22];随着时间的推移,相关法律法规不断完善、信息技术越发普及且应用范围逐渐扩大,进而使得政策的积极效应得到充分释放。



注:实心点上下线表示 95%的置信区间

图 2　平行趋势及动态效应检验结果

表 2 汇报了基准模型的检验结果。其中,(1)~(4)列分别为未纳入控制变量、仅控制时间固定效应、仅控制地区固定效应以及控制双向固定效应的结果,核心解释变量“宽带示范城市”的回归系数均显著为正,表明“宽带中国”示范城市建设显著提升了示范城市的土地绿色利用效率,假说 1 得到验证。

① D_{it}^k 的取值方法如下:用 n_i 表示“宽带中国”示范城市建设的实施年份(n_i = 2014、2015、2016),由于研究期间为 2006—2020 年,若 $t-n_i \leqslant -8$ 则将示范城市的 D_{it}^{-8} 赋值为 1(其余为 0),若 $t-n_i = k$ 同样将示范城市的 D_{it}^k 赋值为 1(其余为 0)。

表 2　基准模型回归结果

变　量	(1)	(2)	(3)	(4)
宽带示范城市	0.023**	0.014*	0.025***	0.023***
	(2.55)	(1.82)	(2.95)	(2.73)
经济发展水平		0.051***	0.060***	0.040**
		(11.24)	(7.63)	(2.21)
产业结构升级		0.017	0.127***	0.114***
		(0.50)	(3.20)	(2.70)
对外开放水平		-0.358**	-0.455***	-0.351**
		(-2.40)	(-3.11)	(-2.36)
环境规制强度		-0.017***	-0.019***	-0.018***
		(-6.49)	(-7.24)	(-6.31)
城市人口密度		0.120***	0.043***	0.091***
		(3.91)	(5.13)	(3.18)
常数项	0.192***	-1.020***	-0.717***	-0.799***
	(42.79)	(-5.39)	(-8.26)	(-3.23)
时间固定效应	控制	控制	未控制	控制
地区固定效应	控制	未控制	控制	控制
样本量	4 230	4 230	4 230	4 230
R^2	0.222	0.196	0.267	0.271

注:***、**、*分别表示在 1%、5%、10%的统计水平上显著,括号内数字为 t 统计量,下表同。

2. 稳健性检验

(1)PSM-DID 检验

为缓解样本选择的非随机性问题,本文采用倾向得分匹配(PSM-DID)方法进行稳健性检验。基于是否为“宽带中国”示范城市的虚拟变量,以控制变量为协变量进行 Logit 回归,计算得到各城市的倾向得分,分别使用核匹配与卡尺匹配方法寻找与处理组样本特征最为契合的控制组样本;对匹配后的样本进行平衡性检验,结果显示,在两种匹配方法下协变量均值不存在显著差异,且标准化偏误均小于 10%,表明匹配效果较好;采用匹配后的样本重新进行模型检验,回归结果见表 3 的(1)(2)列,“宽带中国”示范城市建设的政策效应仍然在 1%的统计水平上显著为正,表明基准模型的回归结果具有稳健性。

(2)工具变量法

为缓解模型的内生性问题,参考辛大楞和彭志远(2023)[24]的做法,选取 1984 年各城市每万人固定电话数量与上一年全国互联网用户数的交乘项作为“宽带示范城市”的工具变量,并使用 2SLS 方法重新进行回归。一方面,我国的宽带网络最早由固定电话拨号接入,历史上固定电话基础较好的地区更容易被确立为“宽带中国”示范城市;另一方面,1984 年的固定电话数对当前城市土地绿色利用效率的影响微乎其微;因此,该工具变量同时满足相关性与外生性要求。第一阶段的回归结果显示,工具变量的系数为 0.218,且通过了 1%水平的显著性检验,表明工具变量与“宽带中国”示范城市具有正相关性;F 统计量为 73.74,远大于 10,Kleibergen-Paap rk LM 检验的 P 值为 0.000,拒绝弱工具变量和不可识别的原

假设,表明工具变量合理有效。第二阶段回归结果见表 3 的(3)列,政策效应依然通过了 1%的显著性检验,再次表明基准模型的回归结果是稳健的。

(3)其他稳健性检验

一是剔除中心城市。考虑到中心城市在地理位置、经济发展基础和资源集聚能力等方面存在显著优势,更容易释放政策红利,将直辖市、省会城市以及副省级城市样本剔除后重新进行模型检验,估计结果见表 3 的(4)列。二是核心解释变量滞后处理。考虑到政策效应可能存在一定滞后性,同时为了削弱反向因果关系的影响,将"宽带示范城市"滞后一期处理后重新进行模型检验,估计结果见表 3 的(5)列。三是控制其他政策影响。已有研究发现,低碳试点政策和智慧城市建设也会对城市土地绿色利用效率产生影响(姜旭 等,2023;Wang et al. ,2021)[2][11],为缓解相关政策的交叉影响,参照目前学术界的主流做法(马茜 等,2022;白俊红 等,2022;邓荣荣 等,2023)[28][45][25],将该两项政策的虚拟变量分别纳入基准模型重新进行检验,回归结果见表 3 的(6)(7)列。上述检验结果显示,核心解释变量的回归系数均显著为正,进一步表明基准模型的回归结果具有良好的稳健性。

表 3　稳健性检验结果

变量	PSM-DID 检验		工具	剔除	核心解释变量	控制其他政策影响	
	核匹配	卡尺匹配	变量法	中心城市	滞后一期	低碳试点政策	智慧城市建设
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
宽带示范城市	0.020***	0.018***	0.208***	0.019***	0.025***	0.023***	0.023***
	(4.85)	(4.35)	(5.86)	(4.39)	(5.92)	(5.61)	(5.71)
低碳试点政策						0.008**	
						(2.02)	
智慧城市建设							-0.006
							(-1.55)
常数项	-0.859***	-0.859***	-0.490***	-0.875***	-0.631***	-0.760***	-0.801***
	(-4.59)	(-4.59)	(-1.81)	(-4.86)	(-3.34)	(-4.18)	(-4.43)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	3 643	3 623	4 230	3 720	3 948	4 230	4 230
R^2	0.293	0.290	0.710	0.251	0.259	0.272	0.271

3. 影响机制检验

鉴于绿色技术创新和产业结构升级对土地绿色利用效率的积极影响已得到既有文献的支持,为避免中介效应模型容易产生内生性偏误的问题,本文借鉴江艇(2022)[46]提出的方法,构建如下计量模型检验"宽带中国"示范城市建设对绿色技术创新和产业结构升级的影响:

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 Did_{it} + \sum \rho control_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

其中,M_{it} 为中介变量,具体包括 4 个:采用各城市当年获得的"绿色发明专利授权总量"和"每万人绿色发明专利授权量"两个变量来衡量绿色技术创新水平,采用"产业结构合理化指数"和"产业结构高级化指数"两个变量来反映产业结构升级。"产业结构合理化指数"借鉴韩永辉等(2017)[47]的方法进行

计算①,“产业结构高级化指数”为第三产业产值与第二产业产值之比。

机制检验结果见表4。“宽带示范城市”对“绿色发明专利授权总量”“每万人绿色发明专利授权量”“产业结构合理化指数”“产业结构高级化指数”的回归系数均显著为正,表明“宽带中国”示范城市建设显著促进了示范城市的绿色技术创新和产业结构升级。因此,“宽带中国”示范城市建设能够通过促进绿色技术创新和推动产业结构升级两条路径来提升示范城市的土地绿色利用效率,假说2和假说3得到验证。

表4　影响机制检验结果

变　量	促进绿色技术创新路径		推动产业结构升级路径	
	绿色发明专利授权总量	万人绿色发明专利授权量	产业结构合理化指数	产业结构高级化指数
宽带示范城市	0.105***	0.059***	0.035***	0.029**
	(2.98)	(12.28)	(2.71)	(2.10)
常数项	-4.733***	-0.168	2.558***	0.863***
	(-3.00)	(-0.78)	(4.44)	(35.37)
控制变量	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制	控制
样本量	4 230	4 230	4 230	4 230
R^2	0.734	0.463	0.074	0.539

4. 空间溢出效应检验

为检验“宽带中国”示范城市建设影响城市土地绿色利用效率的空间溢出效应,本文借鉴邵帅等(2022)[48]的研究,构建3种空间权重矩阵:一是地理距离空间权重矩阵(W_d),元素为基于经纬度计算的各城市间地理距离的倒数;二是经济距离空间权重矩阵(W_c),元素为各城市间人均GDP之差绝对值的倒数;三是地理经济距离嵌套空间权重矩阵(W_w),$W_w = vW_d + (1-v)W_c$,$v = 1/2$。在三种不同的空间权重矩阵下,“土地绿色利用效率”的Moran'I指数均显著为正(见表5),表明样本城市的土地绿色利用效率存在空间正相关性,有必要采用空间计量模型来进行分析。为选择适当的计量模型,进行模型适配性检验:拉格朗日乘数及其稳健形式(LM-err、LM-lag、R-LMerr、R-LMlag)均至少通过了10%的显著性检验,表明土地绿色利用效率存在空间关联性,引入空间计量模型是必要的;Wald检验和LR检验均在1%水平上拒绝SDM模型可以退化为SEM模型或SAR模型的原假设,表明应采用SDM模型;Hausman检验、个体和时间固定效应联合显著性检验(LR-ind与LR-time)均在1%水平上显著,表明应同时考虑时间和空间固定效应。因此,本文构建如下空间杜宾双重差分模型:

$$Lgue_{it} = \gamma_0 + \rho\sum_j W_{ij}Lgue_{jt} + \gamma_1 Did_{it} + \gamma_2\sum_j W_{ij}Did_{jt} + \gamma_3 control_{it} + \gamma_4\sum_j W_{ij}control_{jt} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

其中,ρ为土地绿色利用效率的空间自回归系数,$W_{ij}Lgue_{jt}$、$W_{ij}Did_{jt}$、$W_{ij}control_{jt}$为对应变量的空间滞后项,W_{ij}为空间权重矩阵的元素(反映各样本之间的空间联系)。

① 计算公式为:$SR = -\sum_{i=1}^{n}(Y_i/Y)\left|(Y_i/L_i)/(Y/L) - 1\right|$,其中,$Y$为产出水平,$L$为劳动力投入,$i$代表产业,$n$为产业总数,$SR$值越大则产业结构越合理。

表 5 “土地绿色利用效率”的 Moran’I 指数

年份	地理距离空间权重矩阵		经济距离空间权重矩阵		地理经济距离嵌套空间权重矩阵	
	Moran’I	Z 值	Moran’I	Z 值	Moran’I	Z 值
2006	0.066***	14.192	0.060**	2.091	0.106***	3.471
2007	0.082***	17.242	0.061**	2.126	0.125***	4.047
2008	0.089***	18.757	0.079***	2.720	0.142***	4.619
2009	0.096***	19.889	0.106***	3.557	0.171***	5.404
2010	0.090***	18.762	0.094***	3.193	0.151***	4.842
2011	0.074***	15.416	0.094***	3.150	0.135***	4.277
2012	0.059***	13.393	0.087***	2.895	0.123***	3.877
2013	0.070***	14.604	0.127***	4.211	0.164***	5.172
2014	0.099***	20.281	0.205***	6.723	0.257***	8.047
2015	0.094***	19.282	0.207***	6.760	0.252***	7.879
2016	0.092***	18.909	0.203***	6.648	0.249***	7.811
2017	0.080***	16.421	0.219***	7.134	0.261***	8.106
2018	0.077***	15.691	0.232***	7.514	0.267***	8.276
2019	0.077***	15.746	0.266***	8.602	0.303***	9.366
2020	0.064***	13.445	0.277***	9.035	0.282***	9.005

表 6 列示了空间效应检验结果。可以发现:在三种空间权重矩阵设定下,“*W*×宽带示范城市”的系数均显著为正,表明“宽带中国”示范城市建设对城市土地绿色利用效率的影响具有明显的空间外溢效应;“*W*×土地绿色利用效率”的系数亦显著为正,意味着城市土地绿色利用效率存在空间自相关性,即本地土地绿色利用效率的提升会通过地理和经济上的关联对邻近地区的土地绿色利用效率提升产生正向促进作用。进一步基于偏微分方法对空间效应进行分解,其中,直接效应反映“宽带中国”示范城市建设对本市土地绿色利用效率的影响,间接效应反映该政策对其他样本城市土地绿色利用效率的影响,总效应则反映对全部样本城市土地绿色利用效率的影响。无论是直接效应、间接效应还是总效应,均在 1% 的统计水平上显著为正,表明“宽带中国”示范城市建设不仅能够提升本地区的土地绿色利用效率,还能够带动关联地区土地绿色利用效率的提升,假说 4 得到验证。

表 6 空间效应检验结果

变量及效应类别	地理距离权重矩阵	经济距离权重矩阵	地理经济距离嵌套权重矩阵
W×宽带示范城市	0.198***	0.063***	0.047***
	(3.56)	(7.05)	(5.74)
W×土地绿色利用效率	0.516***	0.162***	0.229***
	(5.44)	(6.12)	(8.86)
直接效应	0.032***	0.013***	0.014***
	(3.79)	(3.58)	(3.90)
间接效应	0.609***	0.075***	0.063***
	(2.89)	(7.17)	(6.08)
总效应	0.641***	0.089***	0.077***
	(3.04)	(8.65)	(7.50)

续表 6

变量及效应类别	地理距离权重矩阵	经济距离权重矩阵	地理经济距离嵌套权重矩阵
控制变量	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制
样本量	4 230	4 230	4 230
R^2	0. 168	0. 227	0. 319

五、拓展研究

1. 异质性分析

(1)区位异质性

区域经济发展的不平衡是我国高质量发展过程中不可忽视的关键问题之一。不同地区在经济发展水平、生态环境状况以及土地利用方式等方面差异显著,“宽带中国”示范城市建设的政策效应也可能表现出区位异质性。相比中西部地区,东部地区的地形较为平坦、水文条件良好,同时具有较高的经济发展水平、人力资本条件和数字化应用需求,因而数字基础设施建设可以较好地发挥促进经济增长和减污降碳的作用,对城市土地绿色利用效率城市产生较强的提升作用。而中西部地区的经济发展基础较为薄弱,且资金和人才相对缺乏,使得数字基础设施建设对城市土地绿色利用效率的提升作用受到一定限制。

本文将样本划分为“东部地区”与“中西部地区”两组,分别进行检验,回归结果见表 7 的(1)(2)列。虽然在两组样本中“宽带示范城市”的回归系数均显著为正,但“东部地区”的系数显著性水平和绝对值都明显大于“中西部地区”。为进一步比较政策效应的强弱,借鉴毛其淋和钟一鸣(2023)的方法[49],对两组样本中核心解释变量的系数进行标准化处理(标准化后显著性水平不变)①,“东部地区”样本的“宽带示范城市”标准化系数为 0. 106,大于“中西部地区”样本的标准化系数 0. 033,表明“宽带中国”示范城市建设对土地绿色利用效率的提升作用在东部地区比中西部地区更强。

(2)城市规模异质性

城市的资源集聚能力、经济活力以及政策优势与其规模大小直接相关,“宽带中国”示范城市建设的政策效应也可能因城市规模的不同而表现出异质性。在规模较大的城市,教育、人才等资源丰富,产业体系更为完善,创新力以及竞争力优势明显,同时较高的人口密集度也促使其对环境保护和土地利用效率的重视程度也较高,因而数字基础设施的完善能够带来显著的经济效益和环境效益,对土地绿色利用效率提升产生较强的促进作用。而规模较小城市的经济发展水平往往相对滞后,对要素资源的吸引力不足,面临资金、人才和技术等资源相对匮乏的发展约束,使得数字基础设施建设对土地绿色利用效率的提升作用得不到充分发挥。

本文参照边志强和钟顺昌(2023)的方法[12],将城区常住人口在 100 万及以上的城市归为大规模城市,城区常住人口在 100 万以下的城市归为中小规模城市,进而分别对“大规模城市”和“中小规模城市”两组样本进行模型检验,回归结果见表 7 的(3)(4)列。在“大规模城市”样本中,“宽带中国”示范城市

① 计算公式为:$\alpha' = \bar{\alpha} \times se(Did)/se(Lgue)$,其中,$\bar{\alpha}$ 表示“宽带示范城市”在均值处的边际系数,$se(.)$为相应变量的标准化,α'为标准化后“宽带示范城市”的估计系数。

建设显著促进了土地绿色利用效率提升;而在“中小规模城市”样本中,“宽带中国”示范城市建设对土地绿色利用效率的影响不显著。

(3)资源禀赋异质性

与非资源型城市相比,资源型城市的自然资源禀赋优势明显,但通常存在产业结构单一、经济增长依赖自然资源开发等问题,而且,资源产业的发展往往需要大量的土地、能源和水资源,导致其发展方式较为粗放,环境负荷也较大。单一的产业结构和严峻的生态环境问题制约了资源型城市的可持续发展以及相关政策的贯彻落实,并可能导致数字基础设施建设对其土地绿色利用效率的提升效果不佳。而非资源型城市的产业结构相对多元,经济发展更多依赖服务业和先进制造业,数字基础设施的完善有助于进一步推动信息技术、电子商务以及数字娱乐等新兴产业的快速发展和传统产业的绿色转型,这些新兴产业的发展不仅能够创造丰厚的经济效益,而且对土地资源和生态环境带来的损耗也较小。因此,在非资源型城市,数字基础设施建设能够显著提升土地绿色利用效率。

本文依据国务院发布的《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020 年)》,将样本城市划分为“资源型城市”与“非资源型城市”两组,分别进行模型检验,回归结果见表 7 的(5)(6)列。在“非资源型城市”样本中,“宽带中国”示范城市建设显著促进了土地绿色利用效率提升;而在“资源型城市”样本中,“宽带中国”示范城市建设对土地绿色利用效率的影响不显著。

表 7　异质性分析结果

变量	地区异质性		城市规模异质性		资源禀赋异质性	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	东部地区	中西部地区	中小规模城市	大规模城市	资源型城市	非资源型城市
宽带示范城市	0.050***	0.008*	0.002	0.021***	-0.008	0.022***
	(6.52)	(1.90)	(0.19)	(4.61)	(-1.15)	(3.96)
常数项	-1.230**	-0.873***	-0.364	-0.995***	0.061	-0.306
	(-2.45)	(-5.16)	(-1.24)	(-3.96)	(0.25)	(-0.90)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	1 500	2 730	1 009	3 221	1 710	2 520
R^2	0.367	0.258	0.148	0.320	0.231	0.323

2. 政策推广效应评估

截至 2020 年,我国共推行了三个批次的“宽带中国”示范城市建设(2014 年、2015 年和 2016 年),那么,随着示范城市范围的扩大,该政策能否持续促进城市土地绿色利用效率提升?其推广效应如何?为了回答上述问题,本文参考种照辉(2022)[15]、邓荣荣和吴云峰(2023)[25]的方法,分别将第一批次、前两个批次、所有三个批次的地区虚拟变量与时间虚拟变量相乘得到对应变量,继而按照基准模型的设定进行检验。在对第一批示范城市的政策效应进行评估时,将第二批与第三批示范城市样本予以剔除;同理,在对前两批示范城市的政策效应进行评估时,剔除了第三批示范城市样本;进而以此来考察政策推广效应。政策推广效应评估结果如表 8 所示。对于第一批、前两批和所有三批示范城市而言,“宽带示范城市”的回归系数均显著为正,意味着该政策的推广能够持续提升示范城市的土地绿色利用效率。由

于模型不仅包含原有示范城市,还包括新增示范城市,因此上述结果还表明“宽带中国”示范城市建设具有显著的推广效应。在系数大小方面,随着示范城市的扩容,政策效应分别为 0.063、0.033 和 0.023(经过标准化后分别为 0.124、0.078 和 0.058),呈现减弱趋势。其原因可能在于第二、三批示范城市建设的时间相对较短,导致政策红利尚未充分释放,随着时间的推移,其政策效应可能会进一步加强。

表 8　政策推广效应评估结果

变量	(1)第一批	(2)前两批	(3)所有三批
宽带示范城市	0.063***	0.033***	0.023***
	(10.52)	(7.21)	(2.73)
常数项	−1.080***	−1.061***	−0.799***
	(−5.19)	(−5.56)	(−3.23)
控制变量	控制	控制	控制
时间固定	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制
样本量	3 180	3 720	4 230
R^2	0.315	0.288	0.271

六、结论与启示

当前,我国面临着耕地红线、资源短缺以及生态环境约束趋紧等发展难题,有效提升土地绿色利用效率具有重要的战略意义。在数字经济成为新的经济社会发展形态并不断拓展深化的背景下,数字基础设施建设带来发展红利日益凸显,并对城市土地使用的投入产出状况产生深刻影响。本文采用 2006—2020 年我国 282 个地级及以上城市的面板数据,运用包含非期望产出的超效率 SBM 模型测度土地绿色利用效率,将“宽带中国”示范城市建设作为一项准自然实验,采用渐进双重差分模型考察数字基础设施建设对城市土地绿色利用效率的影响,结果发现:(1)“宽带中国”示范城市建设显著提升了示范城市的土地绿色利用效率,这一结论在经过 PSM-DID 检验、工具变量法、剔除中心城市、核心解释变量滞后处理、控制其他政策影响等一系列稳健性检验后依然成立;动态效应检验结果显示,该政策效应具有长期性、累积性及短期滞后性。(2)“宽带中国”示范城市建设显著促进了示范城市的绿色技术创新和产业结构升级,表明数字基础设施建设可以通过促进绿色技术创新和推动产业结构升级两条路径来提升城市土地绿色利用效率。(3)“宽带中国”示范城市建设存在明显的空间溢出效应,能够同时提升本地和周围地区的土地绿色利用效率。(4)“宽带中国”示范城市建设对土地绿色利用效率的提升作用存在推广效应,并表现出多样化的异质性,在东部地区比中西部地区更强,在大规模城市和非资源型城市显著,而在中小规模城市和资源型城市不显著。

根据本文研究结论,提出如下启示:第一,积极稳妥推进“宽带中国”战略,持续赋能土地绿色利用效率提升。各地政府应加大对以宽带网络为重点的数字基础设施投资,不断扩大网络覆盖范围,提高上网速度和质量。在此基础上,搭建土地绿色利用的数字化信息平台,推进数字技术与土地管理的深度融合。此外,应加强对数字基础设施建设本身的规划、管理与监督,确保其符合环境保护和可持续发展的要求,避免对生态环境产生不良影响。第二,重视绿色技术创新与产业结构升级的作用,为土地绿色利用效率的提升注入源源不断的动力。各地政府应加强对环保技术研发与应用的支持力度,并重点培育和扶持循环经济、数字信息和新能源等绿色产业,持续赋能绿色技术创新与产业结构升级,从而更为有

效地提升土地绿色利用效率。第三,重视地区间的地理和经济联系,充分释放数字基础设施建设的空间溢出效应。政府应加强城市之间的互联互通,通过建设高速宽带骨干网、鼓励数字产业跨城市发展等措施,打破要素流动壁垒,促进信息技术和资源共享,充分释放数字基础设施建设的发展红利,实现土地绿色利用效率的协同提升。第四,因地制宜推动数字基础设施建设,根据各城市禀赋条件和发展需求制定适宜的政策措施。对于东部地区、大规模城市以及非资源型城市,应充分发挥自身的经济基础和资源集聚优势,着力打造数字经济平台,通过提升城市智能化水平改善城市发展布局,避免出现城市病,提高土地资源的利用效率。对于其他相对欠发达的城市,则应积极出台财政、税收以及土地使用等全方位的优惠政策,鼓励网络服务商以及相关企业进行投资,有效发挥数字基础设施建设的正向效应,实现对土地资源的绿色高效利用。

受研究视角和数据来源等因素的限制,本文还存在一些不足,有待未来进一步深化和拓展:一是可考虑使用数字基础设施的实际水平指标来代替政策虚拟变量,进一步考察数字基础设施对土地绿色利用效率的影响;二是在土地绿色利用效率的测度上,可考虑将表征社会效益的期望产出指标纳入其中;三是内在机制以及异质性分析方面,可进一步从其他维度探究数字基础设施影响土地绿色利用效率的内在机制及异质性表现。

参考文献:

[1] 卢新海,杨喜,陈泽秀.中国城市土地绿色利用效率测度及其时空演变特征[J].中国人口·资源与环境,2020,30(8):83-91.

[2] 姜旭,侯娇,卢新海.低碳试点政策对城市土地绿色利用的影响——基于双重差分模型的实证研究[J].中国土地科学,2023,37(3):80-89.

[3] 梁流涛,雍雅君,袁晨光.城市土地绿色利用效率测度及其空间分异特征——基于284个地级以上城市的实证研究[J].中国土地科学,2019,33(6):80-87.

[4] 陈丹玲,卢新海,张超正,等.多维视域下区域一体化对城市土地绿色利用效率的影响机制研究[J].经济与管理研究,2021,42(8):96-110.

[5] 陈丹玲,卢新海,张超正,等.组态视角下协同创新驱动城市土地绿色利用效率提升的路径选择[J].中国人口·资源与环境,2022,32(10):103-111.

[6] 张东玲,王艳霞,刘敏.新型城镇化对城市土地绿色利用效率的政策驱动效应——基于280个地级市的实证检验[J].城市问题,2022(4):45-54.

[7] 范翔宇,卢新海,刘进进.数字经济发展对城市土地绿色利用效率的影响——基于基础设施建设的调节效应分析[J].中国土地科学,2023,37(5):79-89.

[8] CHANG J,Wang W,Liu J. Industrial upgrading and its influence on green land use efficiency[J]. Scientific Reports,2023,13(1):2813.

[9] 张瑞,文兰娇,王宁柯,等.科技创新对城市土地绿色利用效率的影响——以武汉都市圈48个区县为例[J].资源科学,2023,45(2):264-280.

[10] 卢新海,陶向前,匡兵,等.环保考核、政府环境注意力与城市土地绿色利用效率[J].中国土地科学,2023,37(8):104-112.

[11] WANG A,LIN W,LIU B,et al. Does smart city construction improve the green utilization efficiency of urban land? [J]. Land,2021,10(6):657.

[12] 边志强,钟顺昌.碳排放权交易试点对城市土地绿色利用效率的影响[J].中国土地科学,2023,37(11):52-62.

[13] WANG Y,ZHANG A,MIN M,et al. Research on the effect of manufacturing agglomeration on green use efficiency of

industrial land[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2023,20(2):1575.

[14] 徐志雄,徐维祥,刘程军.环境规制对土地绿色利用效率的影响[J].中国土地科学,2021,35(8):87-95.

[15] 种照辉,高志红,覃成林.网络基础设施建设与城市间合作创新——"宽带中国"试点及其推广的证据[J].财经研究,2022,48(3):79-93.

[16] JIA X, XIE B, WANG X. The impact of network infrastructure on enterprise digital transformation: a quasi-natural experiment from the "Broadband China" strategy[J]. Applied Economics,2023:1-18.

[17] 邱洋冬.网络基础设施建设提升企业创新绩效的路径与异质性——来自"宽带中国"示范城市的经验证据[J].西部论坛,2022,32(4):89-107.

[18] 孔东民,陶云清.信息基础设施建设与企业投资——基于"宽带中国"试点政策的准自然实验[J].经济科学,2023(2):106-124.

[19] 胡浩然,宋颜群.网络基础设施建设与劳动收入份额——基于"宽带中国"战略的证据[J].上海财经大学学报,2023,25(1):19-33.

[20] 方福前,田鸽,张勋.数字基础设施与代际收入向上流动性——基于"宽带中国"战略的准自然实验[J].经济研究,2023,58(5):79-97.

[21] 马青山,何凌云,袁恩宇.新兴基础设施建设与城市产业结构升级——基于"宽带中国"试点的准自然实验[J].财经科学,2021(4):76-90.

[22] 袁航,朱承亮.数字基础设施建设加速中国产业结构转型升级了吗?——基于"宽带中国"战略的准自然实验[J].经济问题探索,2022(10):118-133.

[23] FENG Y,CHEN Z,NIE C. The effect of broadband infrastructure construction on urban green innovation: evidence from a quasi-natural experiment in China[J]. Economic Analysis and Policy,2023,77:581-598.

[24] 辛大楞,彭志远."宽带中国"战略试点政策对城市绿色创新的影响[J].中国人口·资源与环境,2023,33(9):159-170.

[25] 邓荣荣,吴云峰.有福同享:城市数字基础设施建设与经济包容性增长[J].上海财经大学学报,2023,25(1):3-18.

[26] 张涛,李均超.网络基础设施、包容性绿色增长与地区差距——基于双重机器学习的因果推断[J].数量经济技术经济研究,2023,40(4):113-135.

[27] 姚璐,王书华,王小腾.数字赋能中国经济绿色转型研究——基于"宽带中国"试点政策的准自然实验[J].中南财经政法大学学报,2023(2):131-145.

[28] 马茜,张红兵,廖薏.数字基础设施建设、知识流动与城市高质量发展——准自然实验与空间溢出的经验证据[J].产业经济研究,2022(6):114-128.

[29] 侯瑜,袁鹏妞."宽带中国"示范城市建设有助于缩小城乡收入差距吗?[J].西部论坛,2023,33(2):96-110.

[30] ZhONG X,LIU G,CHEN P,et al. The impact of internet development on urban eco-efficiency: a quasi-natural experiment of "broadband China" pilot policy[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2022,19(3):1363.

[31] HONG J,SHI F,ZHENG Y. Does network infrastructure construction reduce energy intensity? Based on the "broadband China" strategy[J]. Technological Forecasting and Social Change,2023,190:122437.

[32] 陈怡安,刘津利.数字基础设施建设促进了能源效率提升吗?——基于"宽带中国"示范城市建设的准自然实验[J].西部论坛,2023,33(4):32-46.

[33] 李广昊,周小亮.推动数字经济发展能否改善中国的环境污染——基于"宽带中国"战略的准自然实验[J].宏观经济研究,2021(7):146-160.

[34] 薛飞,周民良,刘家旗.数字基础设施降低碳排放的效应研究——基于"宽带中国"战略的准自然实验[J].南方经济,2022(10):19-36.

[35] 甘清华,陈淑梅.产业结构升级视角下市场一体化对地区经济增长的影响[J].产业经济研究,2021(5):40-53.

[36] 牛子恒,崔宝玉.网络基础设施建设与大气污染治理——来自“宽带中国”战略的准自然实验[J].经济学报,2021,8(4):153-180.
[37] 李子豪,赵元,夏子谦.环保督政与地区减霾降碳协同治理绩效提升:基于环保约谈的准自然实验估计[J].中国软科学,2023(12):198-207.
[38] TONE K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research,2002,143(1):32-41.
[39] 卢新海,李佳,刘超,等.中国城市土地绿色利用效率驱动因素及空间分异[J].地理科学,2022,42(4):611-621.
[40] 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.
[41] 吴建新,郭智勇.基于连续性动态分布方法的中国碳排放收敛分析[J].统计研究,2016,33(1):54-60.
[42] 郭沛,梁栋.低碳试点政策是否提高了城市碳排放效率——基于低碳试点城市的准自然实验研究[J].自然资源学报,2022,37(7):1876-1892.
[43] 王斯亮,陈欣.撤县设区对城市土地利用效率的影响机理研究[J].中国土地科学,2022,36(12):117-127.
[44] 张建鹏,陈诗一.金融发展、环境规制与经济绿色转型[J].财经研究,2021,47(11):78-93.
[45] 白俊红,张艺璇,卞元超.创新驱动政策是否提升城市创业活跃度——来自国家创新型城市试点政策的经验证据[J].中国工业经济,2022(6):61-78.
[46] 江艇.因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J].中国工业经济,2022(5):100-120.
[47] 韩永辉,黄亮雄,王贤彬.产业政策推动地方产业结构升级了吗?——基于发展型地方政府的理论解释与实证检验[J].经济研究,2017,52(8):33-48.
[48] 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,2022,38(2):46-69+4-10.
[49] 毛其淋,钟一鸣.集群商业信用与企业出口模式——非正式融资渠道影响贸易高质量发展的微观证据[J].南开经济研究,2023(6):40-58.

Impact of Digital Infrastructure Construction on Urban Land Green Utilization Efficiency: Quasi-natural Experiment Based on the Construction of “Broadband China” Demonstration Cities

BIAN Zhi-qiang
(*Institute of Resource-based Economic Transformation Development*,
Shanxi University of Finance and Economics, *Taiyuan* 030006, *Shanxi*, *China*)

Abstract: At present, China is facing development challenges such as the red line of arable land, resource shortage, and tightening ecological and environmental constraints. In this context, improving the land green utilization efficiency is not only an important deployment to optimize the spatial layout of the country and improve resource carrying capacity, but also an inevitable choice for the comprehensive green transformation of economic and social development. The digital infrastructure represented by the “Broadband China” strategy, as the strategic cornerstone of the development of new economic formats such as the digital economy, will not only greatly promote the development of digital infrastructure in pilot areas, but may also have a profound impact on

their land use status. Therefore, whether there is an inherent connection between digital infrastructure construction and land green utilization efficiency has become an important question that urgently needs to be answered. However, there is currently no literature exploring the relationship and underlying mechanisms between the two.

Based on theoretical analysis, this paper uses panel data from 282 prefecture-level and above cities in China from 2006 to 2020 to examine the "Broadband China" strategy as a quasi-natural experiment. It uses a progressive double difference model to examine the impact, intrinsic mechanisms, and spatial spillover effects of digital infrastructure construction on land green utilization efficiency. The heterogeneity and promotion effects of this policy are also explored. The results show that: (1) The "Broadband China" strategy can significantly improve the urban land green utilization efficiency, and this impact exhibits long-term, cumulative, and short-term lag characteristics; (2) Promoting green technology innovation and upgrading industrial structure are the internal mechanisms for improving land green utilization efficiency in the "Broadband China" strategy; (3) The "Broadband China" strategy has a significant spatial spillover effect on improving the urban land green utilization efficiency; (4) The positive impact of the "Broadband China" strategy on land green utilization efficiency is more evident in eastern regions, large-scale cities, and non-resource-based cities; (5) With the expansion of the pilot areas of "Broadband China", this policy shows promotion effects.

Compared with previous studies, this paper's marginal contributions lie in: Firstly, in terms of the research perspective, this study adopts the "Broadband China" strategy as a quasi-natural experiment to examine the impact effects of digital infrastructure development on land green utilization efficiency. The study aims to reveal the underlying mechanisms through two major channels: green technological innovation and industrial structure upgrading, and then delve into the analysis of its spatial spillover effects; Secondly, in terms of content depth, considering the potential heterogeneity effects of the "Broadband China" strategy and the fact of its phased implementation, this study explores its heterogeneous manifestations based on three dimensions: urban location, scale, and type, and evaluates its promotion effects. This study not only contributes to enriching and expanding relevant research on the effects of the "Broadband China" strategy but also provides a certain path support and decision basis for the continuous and efficient promotion of this policy and the improvement of urban land green utilization efficiency.

To a certain extent, this paper reveals the inherent logic of how digital infrastructure construction affects the land green utilization efficiency, which helps the government actively and steadily promote the "Broadband China" strategy, emphasize the role of green technological innovation and industrial structure upgrading, and consider the geographical and economic connections between regions in the development process. It provides a reference for cities to seize the opportunity of using digital infrastructure construction to improve land green utilization efficiency and promote the comprehensive green transformation of economic and social development.

Key words: digital infrastructure; land green utilization efficiency; "Broadband China" strategy; green technology innovation; industrial structure upgrading; spatial spillover effect

CLC number: F124.5; F293.2 **Document code**: A **Article ID**: 1674-8131(2024)02-0022-18

(编辑:刘仁芳;黄依洁)