

引用格式: 方冬莉. 数字经济对中国城市能源利用效率的影响: 基于技术赋能和技术外溢视角[J]. 资源科学, 2023, 45(2): 296–307. [Fang D L. Impact of digital economy on energy utilization efficiency of Chinese cities from the perspective of technology empowerment and spillover[J]. Resources Science, 2023, 45(2): 296–307.] DOI: 10.18402/resci.2023.02.05

数字经济对中国城市能源利用效率的影响 ——基于技术赋能和技术外溢视角

方冬莉

(广西民族大学经济学院, 南宁 530006)

摘要:【目的】本文关注数字经济的绿色发展效应,从技术赋能和技术外溢的角度分析数字经济对城市能源利用效率的影响机制,为充分利用数字经济提高区域绿色发展水平提供经验证据与政策参考。【方法】使用 Malmquist-Luenberger 生产率指数方法测算中国 279 个地级市 2012—2017 年的绿色全要素能源效率,将其作为城市能源利用效率的代理变量;使用固定效应模型分析数字经济对城市能源利用效率的影响,并通过分解能源利用效率和使用空间计量模型分析数字经济技术效应的影响渠道。【结果】数字经济发展指数对城市能源利用效率的回归系数显著为正,说明数字经济能够显著促进城市能源利用效率的提升。能源利用效率分解回归结果显示,数字经济对技术效率的影响不显著,对技术进步的影响显著为正。将能源进步指数替换为绿色发明专利数量对数字经济发展指数进行回归,数字经济发展指数的回归系数也显著为正。这些回归结果表明,数字经济通过提高绿色技术进步来提升城市能源利用效率。进一步分析结果表明,数字经济对城市能源利用效率以及能源技术进步的直接效应不显著,间接效应显著为正,对能源技术效率的直接效应与间接效应均不显著,说明数字经济主要通过绿色技术传播来提升城市能源利用效率。数字经济发展指数对人口规模较小城市以及西部城市的能源利用效率的回归系数更大,说明数字经济对于能源利用效率提升空间大的城市的作用效果更佳。【结论】数字经济通过技术进步和技术外溢提升城市能源利用效率,但未能通过绿色技术效率的渠道起作用。

关键词:数字经济;能源利用效率;技术赋能;技术外溢;Malmquist-Luenberger 生产率指数;空间计量模型

DOI: 10.18402/resci.2023.02.05

1 引言

2020 年 9 月,习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话,提出力争在 2030 年实现碳达峰、2060 年实现碳中和。根据英国石油公司发布的《世界能源统计年鉴 2021》,2020 年中国的基础能源消费量上升了 2.1%,是全球增长速度最高的国家;碳排放量为 99 亿 t,较 2019 年增长了 0.6%,占世界总排放量的 31%。可见,虽然中国经济在不断发展,但同时也付出了比较高的生态成本,节能减排之路任重而道远。张希良等^[1]的研究表明,要在 2060 年之前实现碳中和的目标,2060 年的单位 GDP 能耗需比当前下降 75% 以上。这对于

处在快速发展阶段的中国而言,无疑是巨大的挑战。

与此同时,作为 21 世纪国家基础性战略资源的大数据,蕴含着巨大的发展潜力^[2],中国的数字经济发展步伐正在逐步加快。蔡跃洲等^[3]从数字产业化和产业数字化两方面测算中国数字经济的发展,发现中国数字经济规模由 1993 年的 3.57 万亿增长至 2020 年的 19.14 万亿元,占 GDP 比重也由 1993 年的 3.1% 上升至 2020 年的 18.8%;许宪春等^[4]使用数字化赋权基础设施、数字化交易和数字化媒体测算中国数字经济的增加值,测算结果显示中国的数字经济总增加值由 2007 年的 1.39 万亿元增长至 2017 年

收稿日期: 2022-07-26; 修订日期: 2022-12-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(71763002; 72163002)。

作者简介: 方冬莉,女,广西崇左人,博士,讲师,硕士生导师,研究方向为区域经济发展、区域创新。E-mail: fangdongli228@163.com

2023年2月

的5.30万亿元,占GDP的比重也由2007年的5.16%增长至2017年的6.46%。可以看出,中国的数字经济在国民经济中发挥着越来越重要的作用。目前,数字经济发展已被提升为国家战略,数字技术逐渐融入到社会经济生产生活的每个角落,成为推动经济转型发展、重塑产业结构和改变人类生产生活方式的重要动力。数据由原来生产生活中的副产品变成了新型生产要素,改变了传统的价值生产过程。数字技术所带来的信息传输效率的提高改变了市场运行方式和生产组织的结构^[5],成为重塑全球经济结构、构筑新发展格局的重要力量。可见,数字技术是改造传统经济、赋能传统产业转型升级的支点,数字经济将成为经济发展的新引擎^[6]。

关于数字经济对能源利用效率及生态环境的影响,学者们从不同角度进行了大量研究。如陈晓红等^[7]认为数字经济通过整合再生产过程和优化资源配置提高生态效率;许宪春等^[2]认为数字技术特别是大数据,通过资源整合、科学决策、平台建设和环境监督等手段实现提质增效、技术创新和环境治理,从而实现能源的高效利用。一些学者使用经济指标作为中介变量分析数字经济对能源利用效率的作用机制,如梁琦等^[8]、何维达等^[9]和周磊等^[10]以产业结构、周晓辉等^[11]以资本配置、徐维祥等^[12]以数字产业发展、数字创新和数字普惠金融、任晓松等^[13]以绿色技术创新、刘强等^[14]以数字产业化和产业数字化作为数字经济作用于区域能源利用效率的媒介,得出数字经济的发展能够提高能源利用效率的结论。虽然多数研究验证了数字经济的能源效应,但均未从数字经济的能源技术效应切入。

2 理论分析与研究假设

随着经济发展水平的提高,中国的劳动力工资水平大幅度提升,土地、能源等生产要素的价格水平逐年提高,生态环境的压力越来越大,中国工业的成本优势正在逐步减弱。为适应新工业革命环境、提升国际竞争力,中国未来的工业应朝着绿色化、智能化、服务化和定制化的方向转型升级^[15]。为了追赶数字革命的热潮,不少企业进行了数字化转型^[16],进一步提高了社会生产效率^[17,18],在等量的要素投入下产出了更多的商品,节约了生产过程中的

能源投入。新一代信息技术(大数据、人工智能等)的快速发展为社会生产和消费活动赋能,将一些线下活动转到了线上,在加快了技术传播和应用速度的同时,催生了经济新业态、新模式和新产业,促进了传统经济的转型升级,使数字经济成为区域经济高质量发展的新动能。数字技术对实体经济的赋能可协调生态环境与经济可持续发展,使区域经济空间布局更加合理,生产要素配置成本不断下降,区域和产业分工更加明确,劳动效率不断提高,经济循环更加畅通。

2.1 数字经济对城市能源利用效率的总效应

能源是国家经济发展的基础,数据是提高国家产业能力、培育国家优势领域的高级要素,也是国家在世界市场上获取竞争优势的关键要素。数字经济是“以数字化信息为关键资源,以互联网平台为信息载体,以数字化技术创新驱动为引领的一系列新经济模式和新经济业态^[7]”。它在很大程度上解决了信息不对称的问题,打破了空间对要素流动的限制,降低资源错配造成的效率损失。

从微观层面看,数据作为数字经济时代关键经济投入要素与其他传统要素相结合,被纳入到生产函数中,重构了生产要素体系和投入产出关系,提升了传统要素的边际报酬,也拓展了生产可能性边界,对生产行为产生放大、叠加和倍增效应^[7],能源利用效率因此增强。数字经济的发展减弱了地理空间对要素流动、特别是数据流动的抑制,使企业对数据要素的获取能力大幅度提升。要素传输能力的加强与传输成本的下降使得数据生产、采集、存储、加工和分析更容易突破企业界限,用于企业生产和监控的信息更充足,企业预测的准确度因此提高,更有利于企业产品价值的实现,从而降低微观经济单元的资源错配造成的能源效率损失。在中观层面,数字技术应用带来的信息高速传播强化了产业协同,拓展了产业集聚的地理空间范围,使产业组织呈现网络化发展。以数字化平台为载体的开放性生态系统能够将生产、交换、分配和消费等社会再生产环节整合起来,所形成的虚拟空间层面的产业集聚突破了时空界限,带来的规模效应无限放大,实现了规模报酬递增,提升了经济效率,提

高了能源利用强度。在宏观层面,数字技术通过资源整合、科学决策、环境监测等手段推动经济实现绿色发展。数字技术广泛应用所形成的网络效应有利于能源利用的全局规划和统筹发展,有利于中央对区域绿色发展过程的监督,有利于扩大区域绿色发展示范效应。在区域内部,通过运用生态环境管理信息化手段和多种现代化信息处理技术,可以加强各部门的协同合作,实现生态环境的实时监测和及时监管。在区域之间,数字经济通过压缩时空距离来增强区域间的经济关联,与之相联系的信息储存和加工成本的下降提升了数据共享的效率,有利于实现区域环境污染的联防联控^[19],倒逼区域内企业降低能耗。因此,本文提出以下研究假设:

H1:数字经济的发展有助于提高城市能源利用效率。

2.2 数字经济作用于城市能源利用效率的主要方式

数字经济具有较高的技术属性^[20],所带来创新效应和技术效应是降低城市能耗、提高能源利用效率的重要途径^[12,21]。作为数字经济时代信息载体的互联网平台有力地促进了知识共享,提高研发要素的流动效率^[20],降低了科技研发人员协调沟通成本,使创新主体能够快速获得相关知识、资源与研发动力,为区域技术进步提供了良好的研发环境,有利于城市的科技创新^[22]。此外,在绿色经济发展需求提高的情况下,作为新时代新型投入要素的大数据会促进有偏技术进步,改变要素间的边际替代率和能源消费结构^[23],并提高绿色科技成果转化效率,降低生产能耗。数字经济还可以通过政府数字化、产业数字化、数字产业化等手段变革传统经济发展模式,激发要素潜能,有效地优化能源的利用方式,并提高能源的利用效率。通过与实体经济融合,数字经济以更低的交易成本连接各经济主体,提高资源的匹配效率,实现市场供求信息的精确匹配,优化全局资源要素配置,降低不必要的能源消耗,减少能源浪费。例如,在交通运输行业没有进行数字化转型之前,出租车领域存在着拒载、绕路、空载率高等问题;同时,私家车领域也面临着运载成本高、座位资源得不到有效利用等问题。交通运输行业进行数字化转型后,以新一代信息技术为基础建立的

平台通过大数据搜集、分析及应用,根据车辆的情况和乘客需求打造多种产品线,提高了供给和需求之间的交互效率和匹配效率^[2]。可见,数字经济的本质是通过数字技术高度协调人类经济活动,实现资源优化配置^[24],以更少的资源获取更大的收益。

总之,数字经济一方面通过优化科技创新环境促进技术进步,另一方面通过技术进步赋能实体经济,创新经济模式与业态,降低能源消耗强度。据此,本文提出研究假设:

H2:数字经济通过技术进步提高城市能源利用效率。

2.3 数字经济的空间溢出效应

数字传输技术的使用减弱了地理空间距离在要素和商品流动中的作用,进一步强化了平台网络对经济主体的连接作用,使经济主体之间呈现出显著的网络外部性^[7],加快了创新技术的空间传播速度与空间溢出效率。徐维祥等^[12]、邓荣荣等^[19]、杨昕等^[25]、汪东芳等^[26]的实证研究均表明,能源利用效率存在显著的空间溢出效应。可见,数字经济带来的网络高连通性和高渗透性使各区域之间的联系更加紧密,知识与信息的传播更加便利化,节能减排效应因此存在空间溢出。据此,本文提出研究假设:

H3:数字经济对城市能源利用效率的影响存在空间溢出效应。

3 研究方法

3.1 计量模型

根据前文的理论假设,本文建立了如下计量模型来分析数字经济对城市能源利用效率的影响:

$$Gtfp_{it} = \beta_0 + \beta_1 dige_{it} + \beta_2 Control_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中: $Gtfp_{it}$ 为 i 城市 t 年份的城市能源利用效率; $dige$ 为经过标准化的城市数字经济发展指数; $Control$ 为影响城市能源利用效率的控制变量; $\beta_0 - \beta_2$ 为待估系数; μ 为城市不随时间变动的控制变量,即城市固定效应; ε 为随机扰动项。

3.2 变量度量

目前,数字经济的测量指标较多,但多用省级层面的数据进行测算。虽然省级层面的经济指标较为丰富,但研究单元的空间范围过大,难以体现

2023年2月

出省域内部各城市之间的差异。本文将研究单元确定在城市层面。基于城市层面的数据可得性,本文借鉴赵涛等^[27]的做法,从互联网普及率、相关从业人员情况、数字经济产出情况和移动电话普及率等4个维度考察城市的数字经济发展情况,使用主成分分析法进行降维处理后,得到各城市的数字经济发展指数,记为 *Dige*。为了便于比较不同年份不同城市的数字经济发展水平,借鉴杨慧梅等^[28]的做法,对数字经济发展指数进行标准化处理,使其数值介于0~1之间,记为 *dige*。

对于城市能源利用效率的衡量,参考史丹等^[29]的研究,以劳动、资本和能源作为投入,以地区生产总值(GDP)作为期望产出,以工业SO₂排放量、工业废水排放量和工业烟(粉)尘排放量作为非期望产出。具体来说:①劳动投入,使用城市年末全部单位从业人员数来测度,数据来源于《中国城市统计年鉴》;②资本投入,借鉴单豪杰^[30]的做法,使用以10.96%为折旧率的永续盘存法测算;③能源投入,使用《中国能源统计年鉴》中公布的能源消费量数据衡量区域能源投入。因能源构成较多,为方便计算,将能源消费量的单位统一换算为吨标准煤。由于各地级市并未公布其能源消费量,本文借鉴史丹等^[29]以及吴健生等^[31]的做法,采用夜灯光数据将各省的能源消耗量分解到各地级市。④使用各城市的实际GDP作为期望产出。以2011年为基期,选用各城市的GDP平减指数对各城市的名义GDP进行平减处理。使用Malmquist-Luenberger生产率指数(*ML*指数)方法测算各地级市的绿色全要素能源效率。该指数能更加科学地处理生产过程中的非期望产出问题,并将生产效率的动态性考虑在内。若决策单位本期的生产效率较上一期提高时,*ML*指数大于1。*ML*指数可进一步分解为技术效率指数(*Tech*)和技术进步指数(*Tecch*),前者指生产要素组合效率相对于前沿面的移动,后者指生产前沿面的移动。

在控制变量方面,借鉴杨慧梅等^[28]及史丹等^[29]的思路,控制了城市人口规模(*lnpopu*),以各城市年末人口数的自然对数表示;外商直接投资(*lnfdi*),以各城市当年实际利用外资金额的自然对数表示;财

政支出(*fin_s*),用地方财政一般预算支出与地区生产总值的比值衡量;科学支出(*sci*),用地方科学支出与地区生产总值的比值表示。控制变量中所使用的数据均源自相应年份的《中国城市统计年鉴》。

由于作为测算城市能源利用效率重要投入指标的固定资产投资的统计口径和统计方法在2011年和2018年发生了变化,为保证数据可比性,本文将研究期间设定为2012—2017年。因数据缺失,研究样本未包含港澳台地区,最终选取中国大陆279个城市作为研究对象。

4 结果与分析

4.1 基准回归

表1报告了数字经济对城市能源利用效率的基准回归结果。为了控制不随时间变化的因素的影响,本文均使用固定效应模型进行回归。表1的列(1)~(5)分别为逐步加入控制变量的回归结果。从回归系数看,数字经济发展的回归系数在1%的水平上均显著为正,说明数字经济的发展能够显著提升城市能源利用效率。总体而言,表1的实证分析结果验证了本文理论分析中的H1,即数字经济的发展有助于提高城市能源利用效率。

4.2 稳健性检验

为了验证本文结论的稳健性,排除潜在的内生性问题的干扰,借鉴周晓辉等^[11]的研究,使用1984

表1 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>dige</i>	0.492*** (2.80)	0.437*** (2.76)	0.443*** (2.81)	0.435*** (2.80)	0.436*** (2.84)
<i>lnpopu</i>		0.191*** (2.73)	0.197*** (2.76)	0.196*** (2.77)	0.188*** (2.71)
<i>lnfdi</i>			-0.005** (-2.30)	-0.005** (-2.15)	-0.006** (-2.36)
<i>fin_s</i>				0.030* (1.94)	-0.001 (-0.08)
<i>sci</i>					1.835** (2.21)
<i>N</i>	1674	1674	1674	1674	1674
<i>R</i> ²	0.005	0.011	0.014	0.017	0.018

注: *、**、***分别代表10%、5%、1%的显著性水平,括号内为*t*值。下同。

年各城市每百人拥有的固定电话数量与样本期间全国互联网用户数的乘积作为数字经济发展的工具变量,并用两阶段最小二乘法(2SLS)进行参数估计。固定电话是历史通信基础设施,目前的使用范围已大幅度减少,故未能直接影响当代城市能源利用效率,满足排他性原则。同时,作为传统的通信工具,固定电话会从技术沿袭等方面影响城市的数字经济发展水平,满足相关性的要求。由于1984年各城市的固定电话数量是截面数据,用于面板数据分析时无法观测其估计系数,需要引入一个随时间变化的变量,故将全国互联网用户数与其相乘。工具变量回归结果如表2列(1)所示。Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量大于 Stock-Yogo 工具变量弱识别检验 10% 水平上的临界值,说明本文所选取的工具变量具有合理性。工具变量回归结果中,数字经济发展的回归系数在 1% 的统计水平上显著为正,说明数字经济的发展能够提高城市能源利用效率。

在基准回归中,本文采用了主成分分析法测算城市的数字经济发展水平。为了进一步验证数字经济测算结果的准确性以及模型的稳健性,下面改变测算方法,采用变异系数法测算数字经济发展指标($dige1$),并将其作为解释变量加入到模型中进行检验,回归结果如表2列(2)所示。替换解释变量后,数字经济对城市能源利用效率的回归系数仍显著为正,说明数字经济能够提升城市能源利用效率

表2 稳健性检验

Table 2 Robustness test

	(1)	(2)	(3)
$dige/dige1$	1.917*** (2.62)	0.409** (2.38)	0.931*** (2.73)
$\ln popu$	0.160** (2.38)	0.194*** (2.75)	0.175*** (2.63)
$\ln fdi$	-0.008** (-2.25)	-0.006** (-2.37)	-0.006** (-2.36)
fin_s	0.014 (0.46)	-0.002 (-0.12)	-0.001 (-0.05)
sci	0.788 (0.51)	1.879** (2.29)	0.176** (2.12)
N	1374	1674	1650
$R^2/Kleibergen-Paap rk Wald F$	21.604	0.019	0.019

注:工具变量法中,括号内的数值为 z 值。下同。

的结论是稳健的。

此外,考虑到直辖市属于省级行政单位,经济自主权比普通地级市更高,可能会导致样本缺乏可比性,因此将直辖市的样本剔除,再次进行稳健性检验,回归结果如表2列(3)所示。可以看出,在剔除直辖市的样本后,数字经济对能源利用效率的提升效应仍然显著。

4.3 影响机制分析

绿色经济的持续发展需要技术赋能,以信息技术为载体的数字经济通过提高要素边际报酬等方式对实体经济进行技术赋能,提升能源利用效率。同时,数字经济还能通过加快信息的流动速度,突破地理空间限制等手段传播新知识和新技术,形成技术外溢影响能源利用效率。为此,本部分主要从技术赋能和技术外溢的角度分析数字经济对城市能源利用效率的影响机制。

4.3.1 能源利用效率分解

如上文所述,能源利用效率的提升可来源于技术效率效应和技术进步效应。为了进一步分析数字经济对城市能源利用效率的作用来源,本文将被解释变量分别替换为技术效率指数($Tech$)和技术进步指数($Tecch$)。表3为能源利用效率分解的回归结果。列(1)和列(2)为OLS回归结果,列(3)和列(4)为两阶段最小二乘法的回归结果。从列(1)和列(3)数字经济发展指数对技术效率的回归系数可知,数字经济的发展并没有提高城市能源技术效率,即能源技术的使用效率并未因数字经济的发展而提高。列(2)和列(4)中,数字经济发展指数对技术进步的回归系数均显著为正,说明数字经济的发展提高了城市能源技术进步。综合来看,数字经济主要是通过提高能源技术进步来提升城市能源利用效率。可见,数字经济的发展提高了数据、信息的传播效率,有利于区域创新的发生,有助于区域技术进步,但对于技术效率提升的作用却很有限。

为了进一步验证数字经济通过能源技术进步影响城市能源利用效率的假设,本文使用城市当年申请的绿色发明专利数量衡量该城市的能源技术进步,并将其作为中介变量对数字经济发展指数进行回归。借鉴王军等^[32]、韦施威等^[33]的做法,根据世界知识产权组织(WIPO)提供的绿色专利清单和国

表3 数字经济对能源利用效率的作用机制

Table 3 Mechanism of influence of the digital economy on energy utilization efficiency

	OLS		2SLS		OLS
	(1) <i>Tech</i>	(2) <i>Tecch</i>	(3) <i>Tech</i>	(4) <i>Tecch</i>	(5) <i>G_inv</i>
<i>dige</i>	-0.055 (-0.53)	0.445*** (2.75)	0.084 (0.48)	1.875** (2.57)	5.281** (2.42)
<i>lnpopu</i>	0.009 (0.20)	0.171*** (2.76)	0.014 (0.24)	0.132* (1.95)	2.555*** (3.49)
<i>lnfdi</i>	0.005** (2.22)	-0.011*** (-3.74)	0.003 (0.90)	-0.012*** (-2.75)	-0.045** (-2.41)
<i>fin_s</i>	-0.011 (-0.46)	0.018 (0.63)	-0.016 (-0.46)	0.037 (1.15)	0.262 (0.93)
<i>sci</i>	0.688 (0.68)	0.703 (0.60)	1.196 (0.68)	-0.739 (-0.50)	14.216** (2.20)
<i>N</i>	1674	1674	1374	1374	1670
<i>R²/Kleibergen-Paap rk Wald F</i>	0.003	0.021	21.604	21.604	0.070

际分类代码对中国国家知识产权局的专利进行归类,得到该城市当年申请的绿色发明专利数量并对其取自然对数(*G_inv*),用以衡量该城市的能源技术进步。参考江艇^[34]对中介效应检验的处理,将绿色发明专利数量作为中介变量对数字经济进行回归,结果如表3的列(5)所示。列(5)中数字经济发展指数的回归系数显著为正,说明数字经济的发展能够推动绿色技术进步。科学技术是第一生产力,绿色技术进步是提高能源利用强度的主要原因,是推动能源利用效率提升的重要影响因素。由此可知,数字经济通过提高技术进步推动能源利用效率的提升。本部分的回归结果证实了H2,即数字经济的发展通过技术进步提高能源利用效率。

4.3.2 数字经济对能源利用效率影响的空间溢出效应

数字经济以信息通信技术为载体,能够突破地理空间的限制,在区域间产生空间溢出效应^[27,28]。随着经济发展战略的转变,政府管理目标呈现出综合化发展,环境保护逐渐被纳入官员政绩考核指标体系中。政府部门在设定环境管制目标时会以周边城市或经济发展水平相近城市为标尺^[35],从而使城市间的能源利用效率发生正向或者负向空间溢出。在数字经济时代,知识、信息、数据传输速度加快的情况下,这种溢出将会更加明显。为了检验城市能源利用效率空间溢出效应的大小和溢出方向,借鉴徐维祥等^[12]的研究,分别构建了邻接距离权重

矩阵(*W1*),地理距离空间权重矩阵(*W2*)和经济距离权重矩阵(*W3*)。

空间计量模型的种类较多,不同的空间计量模型所考察的空间传导机制有所差异^[36]。较常用的空间计量模型有空间滞后模型(SAR)、空间误差模型(SEM)、空间交叉模型(SAC)和空间杜宾模型(SDM)。SAR模型假设不同区域的因变量之间存在空间相互作用;SEM模型假设对因变量有影响的遗漏变量或者不可观测的随机冲击通过误差项的传导,产生空间溢出效应;SAC模型综合考虑了SAR模型和SEM模型的空间传导机制;SDM模型则综合考虑了本区域和其他区域的自变量与因变量空间交互作用的影响^[37]。为了选择合适的空间计量模型,需对模型的空间溢出机制进行检验。借鉴Elhorst^[38]的检验思路,先确定是否存在空间溢出效应,再利用似然比(LR)检验,判断SDM模型是否可简化为SAR或SEM模型。从表4结果可知,SDM模型不可简化为SAR或者SEM模型,表明城市能源利用效率同时存在自变量和因变量的双重溢出。因此,本文使用SDM模型进行空间计量分析。

由于存在空间交互作用,自变量对因变量的影响会受到空间交互作用的影响。也就是说,本区域的因变量除了受到本区域自变量的影响,还受到其他区域自变量和因变量的影响。因此,不能简单使用回归系数表征自变量对因变量的边际影响^[36]。

表4 空间计量模型LR检验结果

Table 4 Likelihood-ratio (LR) test results of spatial econometric model

	SAR				SEM			
	<i>Gtfp</i>	<i>Tech</i>	<i>Tecch</i>	<i>G_inv</i>	<i>Gtfp</i>	<i>Tech</i>	<i>Tecch</i>	<i>G_inv</i>
<i>W1</i>	47.48***	5.560	38.260***	58.950***	54.100***	5.410	45.180***	77.550***
<i>W2</i>	20.720***	2.180	16.800***	33.720***	20.720***	1.560	16.560***	40.650***
<i>W3</i>	63.300***	4.820	37.330***	73.280***	67.210***	4.790	44.090***	73.200***

LeSage等^[37]根据空间效应的作用范围和作用对象,将自变量对因变量的影响分为直接效应、间接效应(空间溢出效应)和总效应。其中,直接效应反映了本区域自变量对本区域因变量的平均影响,间接效应反映了本区域自变量对其他区域因变量的平均影响,总效应反映了所有区域的自变量对本区域因变量产生的平均影响。表5为不同权重矩阵下效应分解结果。从回归结果看,数字经济对城市能源利用效率具有显著的推动作用,但本区域的数字经济发展对本区域能源利用效率的提升作用并不显著,对周边城市(*W1*)和经济发展程度相近城市(*W3*)的能源利用效率具有正向溢出作用。根据SDM模型的空间传导机制,这一回归结果说明数字经济虽然能够通过技术进步影响城市的能源利用效率,但主要是通过空间外溢发生作用,即周边城市和经济发展程度相近城市的数字经济发展显著推动本区域的能源利用效率,而本区域的数字经济发展的直接作用不显著。结合上文中数字经济对能源技术效率的系数不显著的回归结果,说明数字经济并不能激励本区域能源技术的深度使用,即本区域的能源技术利用效率并不因本区域的数字经济发展而得

到有效提升。然而,数字经济却可以通过加速周边城市 and 经济发展程度相近城市的先进技术传播以及增加这些城市能源效率提升示范效应的刺激作用,提升本区域的能源利用效率。

可见,通过技术赋能与技术外溢,数字经济提高了能源利用效率,减少了资源的浪费,降低了能源的消耗强度,能够助力区域经济的绿色可持续发展。

4.4 异质性分析

根据上文的机制分析,数字经济主要通过技术赋能和技术外溢影响城市能源利用效率。然而,区域发展水平和发展特征上存在的差异可能会影响到数字经济对能源利用效率的技术赋能。本文分别从城市人口规模和区域异质性的角度分析数字经济对能源利用效率的作用。

4.4.1 城市人口规模的异质性

湛淇等^[39]发现智慧城市建设对绿色全要素生产率的影响存在城市规模异质性,该异质性在数字经济的能源效应中也可能存在。因此,本文运用城市人口数量的中位数对城市规模进行划分。表6的列(1)和列(2)报告了人口规模分样本回归结果。从

表5 空间计量模型回归效应分解

Table 5 Effect decomposition of spatial econometric model regression

权重矩阵	效应	<i>Gtfp</i>	<i>Tech</i>	<i>Tecch</i>	<i>G_inv</i>
<i>W1</i>	直接效应	0.226	-0.055	0.230	2.202**
	间接效应	1.535***	0.006	1.507***	17.594***
	总效应	1.761***	-0.049	1.737***	19.796***
<i>W2</i>	直接效应	-0.082	-0.107	-0.027	-0.340
	间接效应	0.480	2.597	1.036	4.788
	总效应	0.398	2.490	1.009	4.448
<i>W3</i>	直接效应	0.063	-0.082	0.112	1.053
	间接效应	0.815*	-0.119	0.973*	7.017*
	总效应	0.878*	-0.201	1.085*	8.071*

表6 异质性分析回归结果

Table 6 Regression results of heterogeneity analysis

	(1) 人口规模大	(2) 人口规模小	(3) 东部	(4) 中部	(5) 西部
<i>dige</i>	0.313** (2.42)	2.219*** (3.48)	0.094 (1.03)	0.377 (1.37)	2.626*** (3.68)
<i>lnpopu</i>	0.537** (1.99)	0.156** (2.22)	1.264*** (2.74)	0.089 (0.64)	0.039 (0.60)
<i>lnfdi</i>	-0.003 (-0.30)	-0.006** (-2.57)	-0.015*** (-3.04)	-0.005 (-1.36)	-0.000 (-0.00)
<i>fin_s</i>	0.011 (0.20)	-0.008 (-0.19)	0.048 (1.19)	0.065 (0.75)	-0.005 (-0.20)
<i>sci</i>	1.094 (0.45)	2.258* (1.69)	-1.587 (-0.77)	3.077*** (5.55)	1.367 (0.84)
<i>N</i>	834	834	600	492	582
<i>R</i> ²	0.037	0.020	0.154	0.011	0.030

回归系数看,数字经济对人口规模大的城市的能源利用效率的提升作用较人口规模小的城市低,这与葛立宇等^[23]研究结果相似。可能的原因是,数字技术带来的虚拟空间规模经济是数字经济技术赋能发挥作用的主要手段,而人口规模大的城市在数字经济时代到来之前就已经具备了这方面的优势,导致其发展空间比较有限。人口规模小的城市原本属于市场触角的末端,传统生产要素不足、资源使用效率不高,通过数字技术的应用更好地发挥了规模经济的作用,所以数字经济对规模较小城市的能源利用效率的提升作用较大。可见,数字经济的发展能够弥补不发达地区传统生产要素不足的缺陷,提高资源利用效率,给予不发达地区更多的发展机会。

4.4.2 区域异质性

中国的疆域辽阔,地形地貌结构复杂,各区域经济发展水平差异巨大。数字经济发展水平也存在明显区域差异,沿海地区的数字经济发展水平较高,西南地区的数字经济发展水平较低^[40];能源利用效率同样存在区域异质性^[41]。为此,本文将总样本划分为东部、中部和西部,并分别进行子样本回归。将处于北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南的各城市划分为东部地区,城市数量为100个;将处于山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南的各城市划分为中部地区,城市数量为82个;将处于四川、重庆、贵州、云

南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、广西、内蒙古的城市划分为西部地区,城市数量为97个。回归结果如表6列(3)–(5)所示。可以看出,数字经济对东部和中部地区的能源利用效率的提升作用不显著,但对于西部地区的能源利用效率具有显著的提升作用。这一结果与杨慧梅等^[28]的数字经济异质性分析结果类似,对于有较大提升空间的西部地区,数字经济所发挥的作用更强。中国各区域,特别是西部地区的能源利用效率还有很大的提升空间,技术和产业转移为提高中国整体能源利用效率、保障经济绿色可持续发展提供了有效支撑^[42]。此外,根据上文的机制分析,技术赋能和技术外溢是数字经济发挥能源利用效率提升效应的主要渠道,由于东部和中部地区是中国经济发展水平较高的区域,是绿色技术的主要提供者,技术外溢能够给该区域带来的作用较小;而西部地区是技术外溢的主要接收者,数字经济能够给该区域带来较大的能源利用效率提升效应。

5 结论与政策建议

5.1 结论

本文运用中国279个城市的面板数据分析了数字经济对城市能源利用效率的影响,并从数字经济技术赋能和技术外溢的角度研究其中的作用机制。得出以下主要结论:

(1)数字经济的发展有助于提高城市的能源利用效率。在微观层面可提高企业预测准确度,重构

投入产出关系;在中观层面可拓展要素流动的空间范围,强化产业协同;在宏观层面可加强部门间的监管与协作,从而提高城市能源利用效率。

(2)在技术赋能方面,数字经济主要通过技术进步渠道提升城市能源利用效率;在技术外溢方面,数字经济对周边城市 and 经济发展水平相近城市的能源利用效率产生了正向空间溢出。

(3)数字经济的能源利用效率提升效应具有异质性,对于具有较大能源利用效率提升空间的城市的作用效果更强。具体而言,对于人口规模较小的城市以及西部地区的城市,数字经济对能源利用效率的正向影响更大。

5.2 政策建议

根据研究结论,提出如下利用数字经济提升城市能源利用效率的建议:

(1)持续推动城市数字经济发展,推进城市数字产业的形成和产业的数字化转型。在企业层面,要从生产效率和产品质量上入手,运用数字技术为实体经济赋能,培育经济增长的新动能,降低能源消费强度。在产业层面,要加强数字经济与实体经济的深度融合,深化产业组织网络化发展,并运用数字技术扩展产业集聚空间,提高规模经济效应,实现能源利用的规模报酬递增。在区域和国家层面,应加强数字技术在政务服务和生态环境监测的应用,降低环境监管成本。

(2)强化数字技术赋能和技术外溢的作用,使创新技术惠及更多产业和更多区域。继续加大科技研发投入,加强数字化基础设施建设,提高绿色技术传播的速度与范围,降低企业使用绿色技术进行生产的成本。各城市应运用好数字经济对实体经济的技术赋能,扩大数字经济在能源利用效率中的积极作用,从源头上解决经济快速发展与能源利用之间的矛盾。

(3)根据各城市的数字经济发展水平和区域发展特征,因地制宜地制定节能减排计划。例如,人口规模较小的城市可以利用数字经济虚拟空间产生的规模效应,提高匹配效率,优化资源配置,充分利用好数字经济带来的技术赋能。东部地区和中部的城市应进一步提高数字经济的绿色技术

应用效率,运用制度创新提高绿色技术应用的深度和广度,降低能源排放基数和排放强度。西部地区的城市则需要关注数字经济带来的技术外溢,通过引进新技术来提高能源利用效率。

参考文献(References):

- [1] 张希良, 黄晓丹, 张达, 等. 碳中和目标下的能源经济转型路径与政策研究[J]. 管理世界, 2022, 38(1): 35-66. [Zhang X L, Huang X D, Zhang D, et al. Research on the pathway and policies for China's energy and economy transformation toward carbon neutrality[J]. Journal of Management World, 2022, 38(1): 35-66.]
- [2] 许宪春, 任雪, 常子豪. 大数据与绿色发展[J]. 中国工业经济, 2019, (4): 5-22. [Xu X C, Ren X, Chang Z H. Big data and green development[J]. China Industrial Economics, 2019, (4): 5-22.]
- [3] 李海舰, 蔡跃洲, 彭战, 等. 中国数字经济前沿(2021): 数字经济测度及“十四五”发展[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021. [Li H J, Cai Y Z, Peng Z, et al. The Frontier of China's Digital Economy (2021): Digital Economy Measurement and Development in the "Fourteenth Five-Year Plan" [M]. Beijing: Social Science Literature Press, 2021.]
- [4] 许宪春, 张美慧. 中国数字经济规模测算研究: 基于国际比较的视角[J]. 中国工业经济, 2020, (5): 23-41. [Xu X C, Zhang M H. Research on the scale measurement of China's digital economy: Based on the perspective of international comparison[J]. China Industrial Economics, 2020, (5): 23-41.]
- [5] 王天夫. 数字时代的社会变迁与社会研究[J]. 中国社会科学, 2021, (12): 73-88. [Wang T F. Social change and social research in the digital age[J]. Social Sciences in China, 2021, (12): 73-88.]
- [6] 裴长洪, 倪江飞, 李越. 数字经济的政治经济学分析[J]. 财贸经济, 2018, 39(9): 5-22. [Pei C H, Ni J F, Li Y. Approach digital economy from the perspective of political economics[J]. Finance & Trade Economics, 2018, 39(9): 5-22.]
- [7] 陈晓红, 李杨扬, 宋丽洁, 等. 数字经济理论体系与研究展望[J]. 管理世界, 2022, 38(2): 208-224. [Chen X H, Li Y Y, Song L J, et al. Theoretical framework and research prospect of digital economy [J]. Journal of Management World, 2022, 38(2): 208-224.]
- [8] 梁琦, 肖素萍, 李梦欣. 数字经济发展提升了城市生态效率吗? 基于产业结构升级视角[J]. 经济问题探索, 2021, (6): 82-92. [Liang Q, Xiao S P, Li M X. Has the development of digital economy improved urban ecological efficiency? Based on the perspective of industrial structure upgrading[J]. Inquiry into Economic Issues, 2021, (6): 82-92.]
- [9] 何维达, 温家隆, 张满银. 数字经济发展对中国绿色生态效率的影响研究: 基于双向固定效应模型[J]. 经济问题, 2022, (1): 1-

2023年2月

8. [He W D, Wen J L, Zhang M Y. Research on the impact of digital economy development on China's green ecological efficiency: Based on two-way fixed effects model[J]. On Economic Problems, 2022, (1): 1-8.]
- [10] 周磊, 龚志民. 数字经济水平对城市绿色高质量发展的提升效应[J]. 经济地理, 2022, 42(11): 133-141. [Zhou L, Gong Z M. The impact of digital economy level on green high-quality development in Chinese cities[J]. Economic Geography, 2022, 42(11): 133-141.]
- [11] 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. [Zhou X H, Liu Y Y, Peng L Y. Development of digital economy and improvement of green total factor productivity[J]. Shanghai Journal of Economics, 2021, (12): 51-63.]
- [12] 徐维祥, 周建平, 刘程军. 数字经济发展对城市碳排放影响的空间效应[J]. 地理研究, 2022, 41(1): 111-129. [Xu W X, Zhou J P, Liu C J. The impact of digital economy on urban carbon emissions: Based on the analysis of spatial effects[J]. Geographical Research, 2022, 41(1): 111-129.]
- [13] 任晓松, 孙莎. 数字经济对中国城市工业碳生产率的赋能效应[J]. 资源科学, 2022, 44(12): 2399-2414. [Ren X S, Sun S. The enabling effect of digital economy on urban industrial carbon productivity in China[J]. Resources Science, 2022, 44(12): 2399-2414.]
- [14] 刘强, 马彦瑞, 徐生霞. 数字经济发展是否提高了中国绿色经济效率?[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(3): 72-85. [Liu Q, Ma Y R, Xu S X. Has the development of digital economy improved the efficiency of China's green economy?[J]. China population, Resources and Environment, 2022, 32(3): 72-85.]
- [15] 中国社会科学院工业经济研究所课题组. “十四五”时期中国工业发展战略研究[J]. 中国工业经济, 2020, (2): 5-27. [Research Group of the Institute of Industrial Economics of CASS. Research on China's industry development strategy during the period covered by the 14th Five-Year Plan[J]. China Industrial Economics, 2020, (2): 5-27.]
- [16] 史宇鹏, 王阳, 张文韬. 我国企业数字化转型: 现状、问题与展望[J]. 经济学家, 2021, (12): 90-97. [Shi Y P, Wang Y, Zhang W T. Digital transformation of enterprises in China: Current situation, problems and prospects[J]. Economist, 2021, (12): 90-97.]
- [17] 李慧泉, 简兆权. 数字经济发展对技术企业的资源配置效应研究[J]. 科学学研究, 2022, 40(8): 1390-1400. [Li H Q, Jian Z Q. Research on the resource allocation effect of digital economy development on technology enterprises[J]. Studies in Science of Science, 2022, 40(8): 1390-1400.]
- [18] 王开科, 吴国兵, 章贵军. 数字经济发展改善了生产效率吗?[J]. 经济学家, 2020, (10): 24-34. [Wang K K, Wu G B, Zhang G J. Has the development of the digital economy improved production efficiency?[J]. Economist, 2020, (10): 24-34.]
- [19] 邓荣荣, 张翔祥. 中国城市数字经济发展对环境污染的影响及机理研究[J]. 南方经济, 2022, (2): 18-37. [Deng R R, Zhang A X. Research on the impact of urban digital economy development on environmental pollution and its mechanism[J]. South China Journal of Economics, 2022, (2): 18-37.]
- [20] 白俊红, 陈新. 数字经济、空间溢出效应与区域创新效率[J]. 研究与发展管理, 2022, 34(6): 67-78. [Bai J H, Chen X. Digital economy, spatial spillover effect and regional innovation efficiency[J]. R&D Management, 2022, 34(6): 67-78.]
- [21] 许恒, 张一林, 曹雨佳. 数字经济、技术溢出与动态竞合政策[J]. 管理世界, 2020, 36(11): 63-84. [Xu H, Zhang Y L, Cao Y J. Digital economy, technology spillover and dynamic cooperation policy[J]. Journal of Management World, 2020, 36(11): 63-84.]
- [22] 葛立宇, 莫龙炯, 张方. 数字经济发展与城市区域创新: 来自我国281个城市的经验证据[J]. 广东财经大学学报, 2022, (5): 18-30. [Ge L Y, Mo L J, Zhang F. Digital economy development and innovation in cities and regions: Empirical evidence from 281 prefecture level cities in China[J]. Journal of Guangdong University of Finance & Economics, 2022, (5): 18-30.]
- [23] 张思思, 崔琪, 马晓钰. 数字要素赋能下有偏技术进步的节能减排效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(7): 22-36. [Zhang S S, Cui Q, Ma X Y. Energy saving and emission reduction effect of biased technological progress under digital factor empowerment[J]. China Population, Resources and Environment, 2022, 32(7): 22-36.]
- [24] 周清香, 何爱平. 数字经济赋能黄河流域高质量发展[J]. 经济问题, 2020, (11): 8-17. [Zhou Q X, He A P. High quality development of the Yellow River Basin empowered by digital economy[J]. On Economic Problems, 2020, (11): 8-17.]
- [25] 杨昕, 赵守国. 数字经济赋能区域绿色发展的低碳减排效应[J]. 经济与管理研究, 2022, 43(12): 85-100. [Yang X, Zhao S G. Low-carbon emission reduction effect of digital economy empowering regional green development[J]. Research on Economics and Management, 2022, 43(12): 85-100.]
- [26] 汪东芳, 曹建华. 互联网发展对中国全要素能源效率的影响及网络效应研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(1): 86-95. [Wang D F, Cai J H. The impact of internet development on China's total factor energy efficiency and its network effects[J]. China population, Resources and Environment, 2019, 29(1): 86-95.]
- [27] 赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展: 来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10): 65-76. [Zhao T, Zhang Z, Liang S K. Digital economy, entrepreneurship, and high-quality economic development: Empirical evidence from urban China[J]. Journal of Management World, 2020, 36(10): 65-76.]
- [28] 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(4): 3-15. [Yang H M, Jiang L. Digital economy, spatial effects and total factor productivity[J]. Statistical Research, 2021, 38(4): 3-15.]

- 2021, 38(4): 3–15.]
- [29] 史丹, 李少林. 排污权交易制度与能源利用效率: 对地级及以上城市的测度与实证[J]. 中国工业经济, 2020, (9): 5–23. [Shi D, Li S L. Emissions trading system and energy use efficiency: Measurements and empirical evidence for cities at and above the prefecture level[J]. China Industrial Economics, 2020, (9): 5–23.]
- [30] 单豪杰. 中国资本存量K的再估算: 1952–2006年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, 25(10): 17–31. [Shan H J. Reestimating the capital stock of China: 1952–2006[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2008, 25(10): 17–31.]
- [31] 吴健生, 牛妍, 彭建, 等. 基于DMSP/OLS夜间灯光数据的1995–2009年中国地级市能源消费动态[J]. 地理研究, 2014, 33(4): 625–634. [Wu J S, Niu Y, Peng J, et al. Research on energy consumption dynamic among prefecture-level cities in China based on DMSP/OLS nighttime light[J]. Geographical Research, 2014, 33(4): 625–634.]
- [32] 王军, 车帅. 黄河流域数字经济对高质量发展的影响: 来自城市异质性的经验证据[J]. 资源科学, 2022, 44(4): 780–795. [Wang J, Che S. The impact of digital economy on high-quality development in the Yellow River Basin: Empirical evidence from urban heterogeneity[J]. Resources Science, 2022, 44(4): 780–795.]
- [33] 韦施威, 杜金岷, 潘爽. 数字经济如何促进绿色创新? 来自中国城市的经验证据[J]. 财经论丛, 2022, (11): 10–20. [Wei S W, Du J M, Pan S. How does digital economy promote green innovation? Empirical evidence from Chinese cities[J]. Collected Essays on Finance and Economics, 2022, (11): 10–20.]
- [34] 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. [Jiang T. Mediating effects and moderating effects in causal inference[J]. China Industrial Economics, 2022, (5): 100–120.]
- [35] 黄建欢, 方霞, 黄必红. 中国城市生态效率空间溢出的驱动机制: 见贤思齐 vs 见劣自缓[J]. 中国软科学, 2018, (3): 97–109. [Huang J H, Fang X, Huang B H. Eco-efficiency competition across Chinese cities: Bottom up or bottom down?[J]. China Soft Science, 2018, (3): 97–109.]
- [36] 白俊红, 王钺, 蒋伏心, 等. 研发要素流动、空间知识溢出与经济增长[J]. 经济研究, 2017, 52(7): 109–123. [Bai J H, Wang Y, Jiang F X, et al. R&D element flow, spatial knowledge spillovers and economic growth[J]. Economic Research Journal, 2017, 52(7): 109–123.]
- [37] Lesage J, Pace R K. Introduction to Spatial Econometrics[M]. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC, 2009.
- [38] Elhorst J P. Spatial Econometrics: From Cross-sectional Data to Spatial Panels[M]. Heidelberg: Springer, 2014.
- [39] 湛泳, 李珊. 智慧城市建设、创业活力与经济高质量发展: 基于绿色全要素生产率视角的分析[J]. 财经研究, 2022, 48(1): 4–18. [Zhan Y, Li S. Smart city construction, entrepreneurial vitality and high-quality economic development: Analysis based on the GTPF perspective[J]. Journal of Finance and Economics, 2022, 48(1): 4–18.]
- [40] 焦勇. 中国数字经济高质量发展的地区差异及动态演进[J]. 经济体制改革, 2021, (6): 34–40. [Jiao Y. Regional differences and dynamic evolution of high quality development of digital economy in China[J]. Reform of Economic System, 2021, (6): 34–40.]
- [41] 童昀, 刘海猛, 马勇, 等. 中国旅游经济对城市绿色发展的影响及空间溢出效应[J]. 地理学报, 2021, 76(10): 2504–2521. [Tong Y, Liu H M, Ma Y, et al. The influence and spatial spillover effects of tourism economy on urban green development in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(10): 2504–2521.]
- [42] 熊广勤, 石大千. 承接产业转移示范区提高了能源效率吗?[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(7): 27–36. [Xiong G Q, Shi D Q. Do industrial transfer demonstration zones improve energy efficiency?[J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(7): 27–36.]

Impact of digital economy on energy utilization efficiency of Chinese cities from the perspective of technology empowerment and spillover

FANG Dongli

(School of Economics, Guangxi Minzu University, Nanning 530006, China)

Abstract: [Objective] This study focused on the green development effect of the digital economy, analyzed the mechanism of impact of the digital economy on cities' energy utilization efficiency

from the perspective of digital technology empowerment and digital technology spillover, and provided empirical evidence and policy reference for making full use of the digital economy to improve the regional green development level. **[Methods]** The Malmquist-Luenberger productivity index method was used to measure the green total factor energy efficiency of 279 prefecture-level cities in the Chinese mainland from 2012 to 2017, which was taken as a proxy variable of city energy utilization efficiency. The fixed effect model was used to preliminarily analyze the total impact of the digital economy on city energy utilization efficiency, and the impact channels of digital economy technology effect were analyzed by decomposing energy utilization efficiency and using a spatial econometric model. **[Results]** The regression coefficient of the digital economy development index and city energy utilization efficiency is significantly positive, indicating that the digital economy can significantly promote the improvement of city energy utilization efficiency. The decomposition regression results of energy utilization efficiency index show that the digital economy had no significant impact on technological efficiency, but had a significant positive impact on technological progress. When the technological progress index is replaced by the number of green invention patents, and regress the digital economy development index, the regression coefficient of the digital economy development index is also significantly positive. These regression results show that the digital economy can improve the city energy utilization efficiency by improving the progress of green technology. The spatial econometric regression results show that the direct effect of the digital economy on city energy utilization efficiency and energy technology progress was not significant, while the indirect effect was significantly positive, and the direct effect and indirect effect on energy technology efficiency were not significant, indicating that the digital economy mainly improved city energy utilization efficiency through the dissemination of green technology. The regression results of the heterogeneity analysis show that the regression coefficient of the digital economy development index and the energy utilization efficiency of cities with smaller population size and cities in western China was higher, indicating that the digital economy had a better effect on the cities with large space for energy utilization efficiency improvement. **[Conclusion]** The digital economy improved city energy utilization efficiency through technological progress and technology spillover, but it failed to work through the channel of green technology efficiency.

Key words: digital economy; energy utilization efficiency; technology empowerment; technology spillover; Malmquist-Luenberger productivity index; spatial econometric model