

# 数字经济、能源生产率与高质量发展

## —基于黄河流域面板数据的实证研究

李治国<sup>1</sup>, 霍冉<sup>1</sup>, 周行<sup>2</sup>

(1. 中国石油大学(华东) 经济管理学院, 山东 青岛 266580;

2. 中国石油天然气集团有限公司党群工作部, 山东 济宁 272100)

**摘要:**数字经济通过技术创新推动经济社会能源生产率变革, 逐渐成为提升黄河流域高质量发展的新动力、新引擎。基于此, 构建数字经济发展、能源生产率影响高质量发展的理论模型, 并以黄河流域 2013—2019 年的省级面板数据为样本, 通过面板计量模型、中介效应模型以及门槛效应模型等实证模型考察数字经济发展对黄河流域高质量发展的影响。研究显示, 数字经济发展具有推动黄河流域高质量发展和提高能源生产率的双重效应; 能源生产率在数字经济发展推动黄河流域高质量发展的过程中具有显著的渠道效应; 数字经济发展对黄河流域高质量发展的影响存在“边际效应”非线性递增的特点, 且在区域位置、人口规模等方面具有异质特征。

**关键词:**数字经济; 黄河流域; 高质量发展; 能源生产率

**中图分类号:**F49

**文献标志码:**A

黄河流域横跨青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东九省区, 是我国重要的能源资源富集区、生态保护屏障和经济发展区。近年来, 习近平总书记曾多次实地考察黄河流域的生态保护和经济社会发展情况, 提出并强调黄河流域高质量发展是国家重大战略, 应着力促进全流域高质量发展、加强生态保护力度。如何推动黄河流域高质量发展已成为社会各界关注的一项重大议题。其中《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中提出为推动共建高质量发展, 应加快数字化发展, 推动数字经济和实体经济深度融合, 实现信息服务全覆盖。根据《中国数字经济发展白皮书 2021》的数据显示, 2020 年我国数字经济的发展依旧保持不断增长的态势, 总金额达到 39.2 万亿元, 同比增长 2.4%, 占 GDP 比重为 38.6%。由此可见, 数字经济对我国经济发展有显著的推动力, 是构建现代化经济社会、实现高质量发展的必由之路。随着黄河流域发展模式的转变, 数字经济为黄河流域高质量发展提供新的机遇。应顺应第四次工业革命的发展潮流, 聚焦数字经济赋能黄河流域高质量发展。

那么数字经济是否推动了黄河流域高质量发展? 以及它背后的作用机制又是怎样的? 现有文献主要是基于全国层面的理论研究。从微观层面, 数字技术通过营造规模经济、范围经济及长尾效应的经济环境, 形成更为系统的价格机制以提升经济均衡水平<sup>[1-2]</sup>, 以及通过降低关键要素生产成本和利用网络效应改善资源配置效率, 使“数量”“种类”“价格”三者形成一个多元动态均衡的局面以推动高质量发展<sup>[3]</sup>。从中观层面, 数字经济要素的投入带来新一轮的要素配置变革, 数字产业化和产业数字化的发展推动经济结构优化<sup>[4-5]</sup>, 促进产业组织模式优化和产业融合进而推动高质量发展<sup>[6-8]</sup>。从宏观层面, 数字经济通过提高资源配置效率、全要素生产率和投入新的要素三条途径促进经济高质量发展。同时基于数字经济的信息边际收益递增的特点, 数字经济也可通过体制机制创新实现数字经济推动经济高质量发展<sup>[9]</sup>。

收稿日期:2022-01-14; 修回日期:2022-03-07.

基金项目:国家社科基金(22BJL056).

作者简介:李治国(1977—), 男, 山东潍坊人, 中国石油大学(华东)副教授, 研究方向为能源经济, E-mail: upcguo0316@126.com.

通信作者:霍冉(1999—), 女, 河北唐山人, 中国石油大学(华东)硕士研究生, 研究方向为能源经济, E-mail: 634232241@qq.com.

虽然数字经济对高质量发展影响的理论研究较为丰富,但是直接研究数字经济与高质量发展之间关系的实证研究相对较少,仅有的文献来自于数字经济如何通过提升创业活跃度<sup>[10]</sup>、促进技术创新<sup>[11]</sup>、优化制造业产业结构<sup>[12]</sup>等赋能高质量发展。现有的文献研究更多是间接佐证了数字经济推动高质量发展。张勋等<sup>[13]</sup>利用我国家庭追踪调查和数字普惠金融指数数据,研究了数字金融对我国城乡居民收入的影响。研究发现<sup>[13]</sup>:数字普惠金融通过创业机会均等化促进我国经济包容性增长,且在人力、物质以及社会资本三方面存在异质性。沈运红等<sup>[14]</sup>则基于数字化产业发展程度、数字技术、数字基础设施三方面,研究了数字经济对我国制造业产业结构的影响。研究发现<sup>[14]</sup>:数字经济能优化我国制造业产业结构,其中以数字技术为渠道的优化作用最为显著。王开科等<sup>[15]</sup>通过将数字经济的效率系数引入到数字经济的投入产出模型中,研究了数字经济对社会生产效率的影响。研究发现<sup>[15]</sup>:数字技术的发展推动了数字经济与传统经济的深度融合、推动了数字经济设施的建设以及新型商业模式的产生。

相关研究主要是从创新和产业结构视角研究数字经济的作用效果,而基于全要素生产率视角的研究相对较少。同时,关于黄河流域层面的理论研究也相对较少,周清香等<sup>[16]</sup>首次结合马克思生产力理论,提出数字经济可通过赋能效率变革、质量变革以及动力变革推动黄河流域高质量发展。因此,产生了一个这样的问题,黄河流域数字经济推动高质量发展的理论机制是否能通过实证检验得到证明。基于此,本文从宏观层面的全要素生产率角度出发,构建黄河流域省级面板数据,探究能源生产率视角下数字经济对高质量发展的影响。

基于此,本文可能的边际贡献在以下两个方面。第一,聚焦宏观层面,本文通过能源生产率视角探究了数字经济对区域高质量发展的影响;第二,以数字经济为切入点探讨了黄河流域高质量发展问题,为推动黄河流域节能减排和高质量发展提供新的研究视角。

## 1 机制分析

脆弱的生态环境和高负荷的资源环境是长期困扰黄河流域经济社会发展的主要原因,实现高质量发展必须寻找新的契机和动力。数字经济以数字化的信息和知识为核心生产要素,具有创新和技术进步属性,能全面提高社会生产的全要素生产率,并逐步实现产业数字化和数字产业化,有效破除黄河流域的生态资源矛盾,从而成为黄河流域高质量发展的新动力。

随着数字经济时代的发展,互联网在全世界的普及速度逐渐加快,以数字技术为核心的第四次工业革命已经悄然发生。数字经济大规模的快速发展广泛影响着经济发展,数字技术的发展改变了传统的要素投入、组合和使用方法,以更少的劳动、资源等要素投入,获得相同甚至更高的产出以提高全要素生产率。

基于柯布-道格拉斯生产函数(C-D函数),可以看出通过技术进步提高全要素生产率可促进经济增长,即模型中参数  $A$ 。因此数字经济的赋能效应可通过以下方程体现,

$$Y = A_{(t)} \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta}, \quad (1)$$

其中,  $Y$  表示高质量发展,  $K$  为资本投入,  $L$  为劳动力投入,  $\alpha$  和  $\beta$  分别表示资本和劳动的产出弹性系数。而数字经济通过广义的技术进步  $A$  促进高质量发展,即  $A$  包含数字经济以及其他影响高质量发展的因素。具体而言,数字经济的发展带动了信息技术、云计算等数字技术发展,数字技术又作用于生产环节的能源要素生产率,从而赋能高质量发展。另外,通过大数据平台、互联网平台等数字化基础设施,可提高能源资源利用率和循环效率,进而提高能源要素生产率<sup>[17]</sup>。除此之外,实际外资使用、金融发展水平、人口规模、政府干预程度、科技创新水平等因素也会影响高质量发展水平。首先,金融发展水平和实际使用外资都会影响资源和能源的使用情况,能源使用率和资源循环率越高越能促进高质量发展。合理的人口规模,能够减少人口饱和对于高质量发展的阻碍。适度的政府干预程度,能给予高质量发展更好的发展空间。最后,科技创新水平也会影响高质量发展的水平,助力于提高科技创新能力。由此,  $A_{(t)}$  可以表示为:

$$A_{(t)} = A e^{f(D_e + D_o + L_o + P_o, U_f, S_a) + \pi}, \quad (2)$$

其中,  $A$  为常数;  $\pi$  为随机干扰因素。

$$f(D_e, D_o, L_o, P_o, U_f, S_a) = \tau_1 \ln D_e + \tau_2 \ln D_o + \tau_3 \ln L_o + \tau_4 \ln P_o + \tau_5 \ln U_f + \tau_6 \ln S_a, \quad (3)$$

其中,  $D_e$  为数字经济发展水平, 为本文核心解释变量;  $D_o$  表示政府干预程度;  $U_f$  为实际使用外资, 以衡量对外贸易水平;  $L_o$  为金融发展水平;  $P_o$  为人口规模;  $S_a$  表示科技创新水平.  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5, \tau_6$  为待估计系数,  $\delta$  为扰动项, 表示其他可能未被考虑到的控制变量. 将(3)式代入(2)式并对两边取对数可得:

$$\ln Y = \beta + \tau_1 \ln D_e + \tau_2 \ln D_o + \tau_3 \ln L_o + \tau_4 \ln P_o + \tau_5 \ln U_f + \tau_6 \ln S_a. \quad (4)$$

同时由于黄河流域能源资源富集, 是我国重要的化工、能源和基础工业基地, 因此能源生产率直接影响黄河流域高质量发展和生态保护<sup>[18]</sup>, 需走出一条能源要素生产率与黄河流域高质量发展“提升与协调”共存的发展道路<sup>[19]</sup>. 基于此, 本文对(4)式进行扩充, 将能源生产率引入到模型中, 具体模型如下:

$$\ln Y = \beta + \tau_1 \ln D_e + \tau_7 \ln E_n + \tau_2 \ln D_o + \tau_3 \ln L_o + \tau_4 \ln P_o + \tau_5 \ln U_f + \tau_6 \ln S_a, \quad (5)$$

其中,  $E_n$  表示能源生产率,  $\tau_7$  为待估计系数.

具体而言, 就是将生产可能性曲线外推. 一方面, 互联网、大数据平台等数字经济设施的普及加速了资本市场闲置资金以及投资者剩余资金的流动, 增加中小企业商流与可使用资金流从而提高组织柔性生产能力、扩大生产规模最终促进地区能源生产率. 另一方面, 数字化应用程度缓解了服务和信息供需不平衡的状况, 提高能源资源配置满意度和能源要素生产质量进而提升能源要素生产率. 因此, 随着数字时代的到来, 数字经济作为一种新的经济发展形态, 通过数字技术赋能经济社会能源要素生产率, 成为黄河流域高质量发展的新引擎和新动力. 除了技术赋能外, 数字经济还可通过加速数字化基础设施建设来提高要素利用率, 以及深化数字化应用程度提高要素的配置效率, 从而最终实现能源要素生产率提高赋能黄河流域高质量发展. 因此, 本文做出如下假设:

$H_1$ : 能源生产率在数字经济对黄河流域高质量发展的促进作用中起中介作用.

经济发展所需的要素主要涉及初级要素和高级要素, 劳动、土地等初级要素呈现出边际收益递减的特征, 而知识、技术等高级要素由于具有丰裕性主要呈现边际收益递增的特点<sup>[20]</sup>. 而作为数字经济核心的数据要素在经济生产中可被认为是高级要素, 可通过网络效应作用于初级要素、技术等进而达到整合资源和提高全要素生产率的效果, 不但存在极大的规模经济效应, 而且存在边际收益递增的特点<sup>[4]</sup>. 且随着数字经济的发展, 数据要素充分渗透到生产流通的各个环节, 会逐渐成为类似资本、劳动等初级要素一样的必备生产要素, 演变成提升企业生产率的关键<sup>[21]</sup>. 基于数字化的深度发展, 数字经济正成为经济发展的重要环节, 数字要素通过整合初级要素、技术创新等促进生产流通环节全要素生产率提高, 同时其边际收益递增的特征会使得经济几何式增长, 且这种效应会随着数字经济的发展而越来越明显. 因此, 本文做出如下假设:

$H_2$ : 数字经济对黄河流域高质量发展存在“边际效应”递增的非线性影响.

由于各省经济社会发展的差异, 数字经济作为新时代的产物, 在我国各区域的发展程度各不相同, 中西部以及互联网普及程度较低、高等教育比重较高的省份, 数字经济对经济增长的驱动效应更为显著<sup>[22]</sup>. 而黄河流域横跨我国的东中西部, 径流青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东 9 省, 流域内各省份的生态环境、经济发展以及数字经济等方面均呈现较大差异. 因此, 基于多个视角数字经济发展对黄河流域高质量发展均存在异质性. 第一, 在不同地域上数字经济对黄河流域高质量发展具有显著的地区异质性. 第二, 基于互联网普及程度, 数字经济对黄河流域高质量发展的驱动效应也会存在差异. 第三, 相较于初始高等教育水平低的省份, 初始高等教育高的省份更能发挥数字经济对高质量发展的红利效应. 第四, 人口规模影响着数字经济对高质量发展的推动效应. 因此, 做出如下假设:

$H_3$ : 数字经济对黄河流域高质量发展的影响在地区分布、互联网普及率、高等教育比重、人口规模方面具有异质性.

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 模型构建

为检验上述研究假设, 本文以(5)式为基础, 首先针对直接传导机制构建基准回归模型:

$$H_{it} = a_0 + a_1 D_{eit} + a_2 Z_{it} + \delta_i + \gamma_t + \epsilon_{it}, \quad (6)$$

(6)式中,  $H_{it}$  表示  $i$  省在  $t$  时期的高质量发展水平;  $D_{eit}$  表示  $i$  省在  $t$  时期的数字经济发展水平;  $Z_{it}$  表示在  $t$

时期其他影响  $i$  省高质量发展水平的一系列变量;  $\delta_i$  表示  $i$  省的个体固定效应;  $\gamma_t$  表示  $t$  时期的时间固定效应;  $\epsilon_{it}$  表示误差项。

除了(6)式中的直接传导机制,还需构建数字经济通过能源生产率推动高质量发展的回归模型,检验能源生产率中介效应。具体操作如下:在数字经济对高质量发展的基准回归模型(6)中  $a_1$  系数显著的前提下,分别构建  $D_{eit}$  对中介变量能源生产率  $E_{nit}$  的线性回归模型以及  $D_{eit}$  和中介变量  $E_{nit}$  对  $H_{it}$  的线性回归模型,通过  $b_1, c_1$  和  $c_2$  等系数的显著性来检验中介作用。以上回归的具体模型如下:

$$E_{nit} = b_0 + b_1 D_{eit} + b_2 Z_{it} + \delta_i + \gamma_t + \epsilon_{it}, \quad (7)$$

$$H_{it} = c_0 + c_1 D_{eit} + c_2 E_{nit} + c_3 Z_{it} + \delta_i + \gamma_t + \epsilon_{it}. \quad (8)$$

数字经济对高质量发展间接影响的实证检验,除了中介效应模型以外,还包括数字经济影响高质量发展的边际收益递增的非线性模型,即高级要素的规模效应模型。因此,为考察数字经济与高质量发展的非线性关系,本文以数字经济发展水平为门限变量,以能源生产率和数字经济发展水平分别作为门限值,构建数字经济对高质量发展的门槛模型。如下所示:

$$H_{it} = d_0 + d_1 D_{eit} \cdot I(V_{it} \leq \varphi) + d_2 D_{eit} \cdot I(V_{it} > \varphi) + d_3 Z_{it} + \delta_i + \gamma_t + \epsilon_{it}, \quad (9)$$

(9)式中,  $V_{it}$  为门限变量,  $\varphi$  为门限值。  $I(\cdot)$  为指数函数,当括号内的函数成立时取 1,否则为 0。

## 2.2 变量选取

### 2.2.1 数字经济发展水平的测度

数字经济正处于快速发展阶段,新的技术和应用不断涌现。因此,目前国际对数字经济发展水平的测算尚无统一的标准。学术界和各国政府对数字经济发展水平的测算主要分为两大类:一类是直接法,即通过估计数字经济所产生的经济总量测算数字经济发展水平。如美国商务部数字经济咨询委员会(DEBA)在《数字经济委员会第一份报告》中提出可通过划分不同的数字经济范围分析数字化对经济发展的影响以测算数字经济发展水平。虽然此方法在测算数字经济总量上更具合理性,但是在区域层面上缺少操作性。第二类是对比法,即基于多个维度构建指标,通过横向比较不同地区间指标的差异来衡量数字经济发展的相对情况。如经济合作与发展组织(OECD)官方出版物《衡量数字经济》中提出的可利用基础设施和创新能力两个维度 38 个指标测度数字经济发展水平。对比法相较于直接法更适用于省级层面,但是其数据来源公告发布较不稳定,需慎重考虑指标的选取。

因此,出于数据可获得性和适用性,本文部分参考文献[10]提出的测度数字经济发展的指标构建。运用对比法,基于数字经济基础设施和数字化应用程度 2 个维度 12 个指标测度黄河流域各省的数字经济发展水平。数字化基础设施作为数字经济发展的基础,其发展水平深刻影响着数字经济的发展。因此,本文将数字化基础设施作为一级指标,并在该指标下设置 4 个二级指标,各为 IPv4 分配地址数、互联网宽带接入端口、电话普及率(包括移动电话)、互联网域名数。电子商务作为数字经济与产业融合的新兴产业,广泛代表着数字经济的应用程度。因此,本文在数字经济应用程度的一级指标下,构建了从事电子商务交易的企业数、电子商务销售额、电子商务采购额、企业拥有网站数、期末使用计算机数、信息传输、软件和信息技术服务业就业人数、电信业务量以及软件业务收入 8 个二级指标。

### 2.2.2 高质量发展水平的测度

出于对高质量发展的内涵的不同理解,不同的学者对黄河流域高质量发展指标的测算角度也各不相同。石涛<sup>[23]</sup>以“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念为指导构建了高质量发展水平评价体系。徐辉等<sup>[24]</sup>基于生态安全和社会经济发展两方面,从创新驱动、环境状况、民生改善、经济发展和生态状况 5 个维度构建高质量发展水平评价指标。张合林等<sup>[5]</sup>从经济、社会和环境高质量发展 3 个维度构建黄河流域高质量发展评价指标。可见,尽管学者的研究角度各不相同,但是越来越多的学者通过多维的指标对黄河流域高质量发展水平进行测算。因此,鉴于对现有黄河流域高质量评价指标的相关研究成果,按照全面性、数据可获得性、客观性的原则,本文从质量效益提升、结构优化、动能转换、绿色低碳、风险防控、民生改善 6 个维度构建了包含 6 个一级指标、28 个二级指标的黄河流域高质量发展评价指标体系:

(1)质量效益提升:人均地区生产总值(万元/人)反映地区经济发展水平;地区生产总值增长率(%)反映经济发展速度;规模以上工业企业收入利润率(%)反映企业经济增长效率。以及税收增长率(%)、税收占一

般公共预算收入比重(%) and 一般公共预算收入占 GDP 比重(%) 反映政府在经济增长中的作用. 外商直接投资占 GDP 比重(%) and 进出口总额占 GDP 比重(%) 反映对外贸易的开放程度.

(2) 结构优化: 居民恩格尔系数(%) 反映居民消费结构; 常住人口城镇化率(%) 反映地区人口结构; 第三产业增加值占 GDP 比重(%) 反映产业结构.

(3) 动能转换: 采用每万人拥有的万亿元以上商品交易市场数(个), 每万人有效发明专利拥有量(件) 和规模以上工业企业 R&D 经费投入强度(%) 表征动能转换程度.

(4) 绿色低碳: 营运客车载客量(客位) 反映低碳出行发展水平; 森林覆盖率(%) 反映自然环境保护状况; 单位耕地面积化肥施肥量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ) 反映有害化学物质的使用率; 人均公园绿地面积( $\text{m}^2$ ) 反映城市环境重视程度.

(5) 风险防控: 采用保险机构利润(%)、国有企业资产负债率(%)、房地产市场杠杆率(%)、规模以上工业企业资产负债率(%) 表征风险防控发展.

(6) 民生改善: 人均可支配收入与人均 GDP 之比(%) 反映居民可支配收入程度; 生活垃圾无害化处理率(-) 反映地区对居民生活环境的重视程度; 居民人均消费性支出(元) 反映居民娱乐消费程度; 普通高等学校教职工数(人) 反映地区高等教育重视程度; 城镇登记失业率(%) 反映地区就业水平; 医疗卫生机构数(个) 反映地区基础医疗水平.

### 2.2.3 能源生产率指标

根据要素投入的数量, 能源要素投入与 GDP 比值这一传统的生产率指标, 可分为单要素、多要素以及全要素生产率<sup>[25]</sup>. 其中, 单要素生产率指单一要素的投入对产出的影响, 大部分文献中以地区生产总值与能源消耗量的比值表示能源生产率, 即统计年鉴上能源消耗强度的倒数. 尽管目前部分学者提出使用能源生产率衡量能源投入与产出之间的关系有很大的局限性, 其中最大缺点在于无法度量潜在能源技术效率问题. 但由于本文尚未涉及能源技术问题, 故采用能源消耗强度倒数表示能源生产率指标.

### 2.2.4 控制变量

为了更好地探究数字经济对黄河流域高质量发展的影响, 还需控制住其他影响高质量发展的因素. 具体如下: 政府干预程度( $D_o$ ), 用财政支出占地区生产总值的比值表示; 金融发展水平( $L_o$ ), 用年末金融机构存贷款余额占地区生产总值的比值表示; 人口总量( $P_o$ ), 用地区常住人口数表示; 外资利用( $U_f$ ), 用年末实际利用外资表示; 科技创新水平( $S_a$ ), 用规模以上工业企业 R&D 经费支出表示.

## 2.3 数据来源及处理

本文数据主要来源于 2013—2019 年度的《中国统计年鉴》, 其中年末实际利用外资以及财政支出均来源于各省统计年鉴. 测算指数的绝大部分需要通过再次计算得到, 如政府干预程度需分别查询到“年末财政支出”和“地区生产总值”, 再通过计算二者比值得到政府干预程度指标. 另外核心解释变量和被解释变量采用熵值法处理, 其他控制变量只做简单的无量纲化处理.

## 2.4 描述性统计

表 1 是本文主要变量的描述性统计. 结果显示, 高质量发展水平( $H$ ) 的最小值为 0.232, 最大值为 0.599, 标准差为 0.102, 表明黄河流域各省份内高质量发展水平存在较大差异, 与赵涛等<sup>[7]</sup>的发现相似. 数字经济发展( $D_e$ )、能源生产率( $E_n$ ) 同样呈现“变化跨度较大、标准误小”的特点. 从控制变量来看, 黄河流域内不同省份在金融发展水平( $D_o$ )、政府干预程度( $L_o$ )、人口总量( $P_o$ )、外资利用( $U_f$ )、科技创新水平( $S_a$ ) 等方面也存在显著差异.

# 3 实证结果及分析

## 3.1 基准回归分析

表 2 列出了固定效应面板(FE)、随机效应面板(RE)、最小二乘回归(OLS)的回归结果. 数字经济发展对黄河流域高质量发展的影响系数为正值且在 1% 的显著性水平下均通过检验, 即数字经济能够显著提高黄河流域高质量发展. 同时依据通过 Hausman 检验结果,  $p$  值等于 0, 拒绝原假设, 本文选取时间省份双固定效

应.在加入控制变量的模型(2)中,政府干预程度通过1%的显著性检验,作用效果为负,说明政府过度干预会阻碍黄河流域高质量发展.金融发展水平和科技创新水平则与高质量发展之间呈现显著的正向效应,这说明金融发展水平和科技创新水平有助于黄河流域高质量发展,这可能是因为随着金融发展水平和科技创新水平的提高,黄河流域的资金总量、运转以及技术创新水平都会得到提高,进而促进黄河流域高质量发展.而对于人口总量,则与黄河流域高质量发展存在负相关关系,且在1%水平下保持显著,说明人口总量的持续增长不利于黄河流域高质量发展,这可能是因为人口的过度饱和会破坏人与自然之间的平衡.黄河流域各省外资使用与高质量发展之间存在不显著的负相关关系,这说明外资的使用并未明显促进黄河流域高质量发展,这可能是因为外资引进容易形成技术依赖,从而阻碍黄河流域创新能力的提高,这与赵涛等<sup>[11]</sup>结论保持一致.

表1 主要变量描述性统计

Tab. 1 Descriptive statistics of main variables

变量类型	变量名称	变量符号	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	高质量发展	$H$	63	0.376	0.102	0.232 0	0.599
解释变量	数字经济发展	$D_e$	63	0.213	0.215	0.014 8	0.848
控制变量	能源生产率	$E_n$	63	1.196	0.554	0.490 0	2.433
	金融发展水平	$D_o$	63	0.352	0.271	1.00e-07	1
	政府干预程度	$L_o$	63	0.491	0.274	1.00e-07	1
	人口总量	$P_o$	63	0.522	0.342	1.00e-07	1
	利用外资	$U_f$	63	0.302	0.314	1.00e-07	1
	科技创新水平	$S_a$	63	0.174	0.253	1.00e-07	1

表2 基准回归结果

Tab. 2 Baseline regression results

变量	Hqed(高质量发展)				
	(1)FE	(2)FE	(3)RE	(4)OLS	(5)2sls
$D_e$	0.053 2*** (10.50)	0.053 7*** (8.34)	0.082 3*** (10.11)	0.111 0*** (14.26)	0.052 4*** (8.01)
$D_o$		0.215*** (3.25)	0.138*** (3.63)	0.249(1.09)	-0.205*** (-3.76)
$L_o$		0.035 6*** (3.04)	-0.149 0*** (-5.16)	-0.228 0*** (-9.79)	0.025 6(1.32)
$P_o$		-0.017 3*** (-3.19)	-0.010 8(-1.52)	-0.011 8(-1.34)	-0.017 4*** (-3.12)
$U_f$		-0.036 2(-0.96)	-0.074 4** (-2.32)	-0.130 0*** (-5.18)	-0.037 2(-0.56)
$S_a$		0.192*** (4.22)	0.136*** (4.67)	0.121*** (5.96)	0.192*** (4.24)
常数项	-0.487 3*** (45.30)	0.553 0*** (17.58)	0.577 0*** (20.55)	0.657 0*** (27.40)	1.633 0*** (10.04)
省份固定	YES	YES	NO	NO	YES
年份固定	YES	YES	NO	NO	YES
时期数	7	7	7	7	7
省份个数	9	9	9	9	9
$R^2$	0.675 2	0.800 9	0.644 6	0.752 7	0.585 2

注:表中括号内报告的是t值,\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%的置信水平下通过显著性检验,下同。

### 3.2 中介效应分析

前文从理论层面提出,基于能源生产率视角下数字经济对黄河流域高质量发展的间接影响机制.因此,本文选用中介效应模型对该机制进行实证检验以证明理论的现实意义,回归结果见表3.在模型(1)中数字经济发展对黄河流域高质量发展影响的系数为0.053 7,通过1%的显著性检验,证明了数字经济发展对黄河流域高质量有显著的推动作用.同时模型(2)的回归结果证明了数字经济发展水平与能源生产率之间具有显著的正相关关系,说明数字经济的发展可提高能源生产率,这可能是因为数字经济不仅能间接地通过对能源要

素进行资源整合进而提高能源生产率,还能通过数字技术直接提升能源生产率.最后又将能源生产率这一中介变量,放到数字经济发展对高质量发展的回归模型中.其中,数字经济的正向影响系数虽然降低为0.035 0,但通过1%水平下的显著性检验,同时能源生产率对高质量发展的影响也通过1%水平下的显著性检验.这说明数字经济发展和能源生产率提升都会促进黄河流域高质量发展.通过对模型(1)、(2)、(3)中数字经济变量系数、能源生产率系数显著性的判断,证实了数字经济通过能源生产率的提升促进黄河流域高质量发展的中间作用机制,该实证结果支持了假设  $H_1$ .

表3 数字经济对黄河流域高质量发展的中介机制检验结果

Tab. 3 Test results of mediating mechanism of digital economy on high-quality development in the Yellow River Basin

变量名	(1)Hqed	(2)Enef	(3)Hqed
$D_e$	0.053 7*** (8.34)	0.228 0** (2.18)	0.035 0*** (4.16)
$E_n$	—	—	0.053 4*** (2.76)
$D_o$	-0.215 0*** (-3.25)	-0.347 0(-0.62)	0.030 3(0.90)
$L_o$	0.035 6*** (3.04)	-0.578 0** (-2.17)	-0.168 0*** (-5.00)
$P_o$	-0.017 300*** (-3.19)	-0.000 638(-0.01)	0.048 700*** (3.38)
$U_f$	-0.036 2(-0.96)	0.224 0(0.82)	-0.111 0*** (-2.68)
$S_a$	0.192 0*** (4.22)	0.229 0(0.59)	0.022 9(0.42)
常数项	0.553 0*** (17.58)	0.787 7(0.45)	1.352 9*** (5.21)
省份固定	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES
时期个数	7	7	7
省份个数	9	9	9
$R^2$	0.800 9	0.981 3	0.908 8

### 3.3 门槛效应分析

为检验假设  $H_2$  的成立,本文利用面板门槛回归模型检验数字经济对高质量发展的非线性影响.在进行门槛估计前,先采用 HANSEN<sup>[26]</sup>的方法进行面板门槛存在性检验.通过反复 500 次抽样的“自助法”检验,如表 4 所示.结果表明以数字经济发展作为门限变量、能源生产率作为门槛值的门槛模型在 5% 的显著性水平上通过单一门槛,门槛值为 0.956 7,在显著性 10% 的水平上未通过双重门槛和三重门槛检验.以数字经济发展水平为门槛变量、数字经济发展水平为门槛值的门槛模型在 5% 的显著性水平上通过双门槛检验,门槛值分别为 0.106 8 和 0.363 0,在显著性 10% 的水平上未通过三重门槛检验.在此基础上本文设置以能源生产率为门槛值的单一门槛检验和以数字经济发展水平为门槛值的双门槛检验的回归模型.回归结果显示,以  $E_n$  为门槛值的单一门槛回归模型中,数字经济对黄河流域高质量发展的回归模型是非线性的,即随着能源生产率的提高,数字经济对高质量发展的正向影响是持续增强的,即存在边际效应递增.以  $D_e$  为门槛值的双门槛回归模型中,数字经济对高质量发展的非线性促进效应依旧存在.说明数字经济对黄河流域高质量发展的影响,不仅受自己数字经济发展水平的影响,也会受到流域能源生产率的调节影响,体现了数字经济与能源生产率之间的绿色协调成长关系.该结果证实了假设  $H_2$ .

### 3.4 异质性分析

黄河流域横向跨度较大,存在明显的环境、人口规模和资源等异质性,区域内各省份的数字经济发展和高质量发展也存在差异.因此,黄河流域内各省份数字经济发展对高质量发展的影响也可能存在地区分布、互联网普及程度、高等教育水平、人口规模等方面的异质性,据此本文对数字经济赋能黄河流域高质量发展进行进一步的分析.表 5 表示黄河流域内属于不同区域、不同互联网普及程度、不同高等教育水平、不同人口规模的各省份的数字经济发展水平指标和高质量发展水平指标的描述性统计,地区划分按照国家统计局划分方法,人口规模划分的按照人口总量小于 1 000 万为小人口规模地区,大于 8 000 万为大规模人口地区标准划分,互联网普及程度和高等教育水平按照各省份数据与黄河流域整体数据均值差异的标准划分.分析表

明,分布在不同区域、不同互联网普及程度、不同高等教育水平以及不同人口规模上的黄河流域各省份,在数字经济发展和高质量发展水平方面确实存在异质性。

表 4 数字经济对黄河流域高质量发展的门槛检验结果

Tab. 4 Threshold test results of digital economy on high-quality development of the Yellow River Basin

变量	检验	F 统计值	p 值	BS 次数	调节变量		
					10%	5%	1%
$E_n$	单一门槛值	14.17	0.040 0	500	11.753 8	13.653 7	17.892 0
	双重门槛值	7.03	0.410 0	500	11.149 3	13.257 8	17.238 1
	三重门槛值	6.19	0.590 0	500	12.763 7	15.578 5	20.773 4
$D_e$	单一门槛值	14.25	0.080 0	500	13.321 3	17.454 4	26.104 4
	双重门槛值	13.64	0.030 0	500	10.417 2	12.738 6	18.028 8
	三重门槛值	6.18	0.686 7	500	19.857 9	22.361 7	30.045 0

表 5 黄河流域各省份数字经济和高质量发展的差异

Tab. 5 Differences in digital economy and high-quality development among provinces in the Yellow River Basin

类别	数字经济发展		高质量发展水平		类别	数字经济发展		高质量发展水平	
	均值	标准差	均值	标准误		均值	标准差	均值	标准误
地区分布(东)	0.660 0	0.145	0.567 7	0.020 4	人口规模(小)	0.029 2	0.011 3	0.264	0.029 4
地区分布(中)	0.174 0	0.118	0.376 0	0.055 1	人口规模(中)	0.122 0	0.075 1	0.353	0.065 9
地区分布(西)	0.147 0	0.160	0.336 8	0.088 95	人口规模(大)	0.456 0	0.195 0	0.480	0.069 5
互联网普及率(低)	0.091 3	0.757	0.323 0	0.070 1	高等教育水平(低)	0.066 2	0.429 0	0.305	0.060 3
互联网普及率(高)	0.456 0	0.195	0.480 0	0.069 5	高等教育水平(高)	0.396 0	0.202 0	0.464	0.067 3

表 6 表示数字经济对黄河流域高质量发展的异质性分析结果。

表 6 数字经济对黄河流域高质量发展异质性检验结果

Tab. 6 Test results of digital economy on the heterogeneity of high-quality development in the Yellow River Basin

变量	低互联网普及率(1)		高互联网普及率(2)		低高等教育水平(3)		高高等教育水平(4)	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
$D_e$	0.085 2*** (4.49)		0.071 1*** (4.43)		0.045 7*** (5.35)		0.066 3*** (4.22)	
常数项	1.054 3*** (3.15)		1.616 5*** (2.83)		1.286 6*** (4.95)		0.962 6** (2.38)	
$R^2$	0.717 6		0.948 1		0.789 2		0.905 0	
变量	地区分布			人口规模				
	东部(5)	中部(6)	西部(7)	小规模(8)	中等规模(9)	大规模(10)		
$D_e$	0.101 0* (2.27)	0.087 9*** (4.37)	0.035 6*** (4.36)	0.032 7*** (4.89)	0.066 4*** (3.59)	0.071 1*** (4.43)		
常数项	0.623 9(22.48)	0.572 1(0.70)	0.416 2(1.08)	0.531 7*** (13.36)	0.391 0(0.60)	1.616 5*** (2.83)		
$R^2$	0.577 7	0.840 0	0.826 4	0.952 0	0.773 9	0.948 1		
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES		
固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES		

模型(1)、(2)表示基于互联网普及率,研究数字经济对黄河流域高质量发展的异质性影响,结果表明相较于高互联网普及率地区,低互联网普及率地区数字经济的发展更能促进高质量发展。这可能是因为初始互联网普及程度较低的省份更能从数字金融发展中获取更高的收益,因为相较于传统经济,数字经济发展受物理空间上的限制较少,能够形成后发优势,使得初始互联网普及率较低的省份实现数字经济发展和数字基础设施建设在空间和时间上的高度耦合,从而推动黄河流域高质量发展。表 6 中模型(3)、(4)表示不同高等教育水平下,数字经济发展积极效应的差异性。结果表明,在不同高等教育水平下数字经济都会推动黄河流域高质量发展,这说明高等教育水平的高低并不会阻碍黄河流域各省从数字经济发展中获益。这是因为,随着



数字经济的发展,互联网、大数据平台的数字基础设施操作页面和操作技术变得越来越简洁和方便.因此,相较于传统经济,居民获得先进信息和技术所需要的学历门槛开始降低,即使不具备高等教育水平,依旧可以通过互联网获取新的知识、技术以及资讯等.

表6中模型(5)、(6)、(7)表示数字经济对黄河流域高质量发展的影响存在地区异质性,其中黄河流域中西部数字经济的正向效应通过1%水平的显著性检验,东部数字经济的正向作用则通过10%水平的显著性检验,东部地区数字经济对高质量发展的推动作用要强于中西部地区的推动作用,这可能是由于相较于黄河流域中西部地区,东部地区更能充分释放数字经济对高质量发展的红利效应.表6中模型(8)、(9)、(10)表示数字经济对黄河流域高质量发展的影响存在人口规模异质性,相较于中等以及大规模人口的省份,小规模人口省份对高质量发展的作用效果更强,且3种至少在1%的水平上保持显著性.这说明人口规模增长可能制约数字经济对高质量发展的推动作用.

## 4 稳健性检验

### 4.1 工具变量方法

数字经济现已成为经济社会发展的新引擎,经济高质量、协调发展也为数字经济发展提供了更好的平台反哺于数字经济.据此,二者可能会存在因果关系.因此,为解决模型的内生性问题,本文借鉴李治国等<sup>[27]</sup>的方法,选取2013—2019年黄河流域各省固定电话数量和邮政营业网点数作为代替核心解释变量的工具变量.一方面,固定电话和邮政作为传统的通信基础,会从使用习惯和技术水平等方面影响到后续新兴互联网技术和数字经济技术的应用.另一方面,新兴通信技术的发展使得固定电话、邮政等传统通信方式对经济发展的影响逐渐减弱,满足排他性.

表2的模型(5)结果显示,以各省固定电话数量和邮政营业网点数为工具变量下,数字经济对黄河流域高质量发展的积极作用仍通过1%水平下的显著性检验.此外,对于“工具变量识别过度”的原假设,检验结果显示 $p$ 值大于0.1,接受各省固定电话数量和邮政营业网点数工具变量是外生变量的假设.通过上述检验说明了以各省固定电话数量和邮政营业网点数作为数字经济发展水平工具变量的合理性.

### 4.2 外生冲击检验

实际上,黄河流域各省数字经济发展往往受到各省科技创新水平、外对开放度以及产业结构等因素的影响,而这些因素深刻影响着黄河流域各省的高质量发展.因此,为了检验数字经济赋能黄河流域高质量发展这一结果的稳健性,本文采用大数据基础设施统筹发展类综合实验区作为外生政策冲击,利用合成控制法再次评估数字经济对黄河流域高质量发展的作用效果.

#### 4.2.1 “大数据基础设施统筹发展类综合实验区”政策冲击和合成控制法

随着数字经济的迅猛发展,大数据已成为社会经济发展的重要一环,2015年8月国务院出台了《促进大数据发展行动纲要》,并于2016年2月经国家发展改革委员会、信息化部等部门批复,同意建设首个国家级大数据综合实验区-贵州,于同年10月,相继审批了第二批国家级大数据综合实验区,其中就包括河南省和内蒙古自治区.国家级大数据试验区主要围绕加快数据要素流通、提高数据资源应用、促进数据中心整合等七大任务,测试数字经济发展对经济社会的带动效应.

鉴于常用于评价政策效果的传统双重差分(DID)具有比较严格的使用条件,本文选用DID拓展出的合成控制法作为评价国家级大数据试验区政策效果的检验方法.作为一种非参数方法,合成控制法可以通过数据驱动确定权重合成每一个研究个体的合成控制对象,避免了平均化的评价以及政策内生性问题,减少了主观选择导致的误差,弥补了DID的局限,目前被广泛应用于检验各种政策的评价研究中.

本文采用合成控制法评价国家级大数据综合实验区政策的效应,即通过对多个控制对象的加权来合成实验对象没有实施政策的情况,以此检验政策的实施效应.假设有 $a+1$ 个省份,只有第一个省份在 $t_1$ 出台了政策,其他省份没有出台相关政策.构建模型:

$$H_{it} = H_{it}^h + a_{it}D_{it}, \quad (10)$$

$H_{it}$ 和 $H_{it}^h$ 分别表示 $t$ 时期 $i$ 省的高质量发展的实际值和合成值, $D_{it}$ 表示 $i$ 省的政策干预状态,受干预时

$D_{it}=1$ , 否则为 0.参考 ABADIE 等<sup>[28]</sup>构建因子模型估计不可观测  $H_{it}^h$ .

$$H_{it}^h = A_t Z_i + B_t \mu_i + \theta_t + v_{it}, \quad (11)$$

$Z_i$  和  $\mu_i$  分别是  $K \times 1$  维可观测向量和  $F \times 1$  维不可观测向量,  $A_t$  和  $B_t$  分别表示  $1 \times K$  维和  $1 \times F$  维的时变参数向量,  $\theta_t$  表示时间固定效应,  $v_{it}$  表示误差项.构建  $a+1$  维权重向量  $W=(w_2, w_3, \dots, w_{a+1})'$ , 分别对应控制组  $i$  省的权重, 其中  $w_i \geq 0$  且  $w_1 + w_2 + \dots + w_{a+1} = 1$ .  $H_{it}^h$  是控制组内所有省份的加权平均, 故试验区的高质量发展可表示为:

$$\sum_{i=2}^{a+1} w_i H_{it}^h = A_t \sum_{i=2}^{a+1} w_i Z_i + B_t \sum_{i=2}^{a+1} w_i \mu_i + \theta_t + \sum_{i=2}^{a+1} w_i v_{it}. \quad (12)$$

#### 4.2.2 基准回归结果

表 7 显示评估政策出台前实验对象与合成组的均方误差 (RESPE) 以及合成地区的权重组成, 结果显示, 河南省和内蒙古合成组的 RESPE 较小, 且科技创新水平、对外开放度、产业结构等预测变量也十分接近真实水平, 故可运用合成控制法检验河南省、内蒙古国家级大数据试验区的政策效应.

表 7 合成地区权重

Tab. 7 Composite regional weights

试点省份	RESPE	合成地区(权重)
河南	7.156 30	山东(0.526) 四川(0.078) 陕西(0.239)
内蒙古	2.296 58	山东(0.439) 宁夏(0.561)

黄河流域横向跨度较大, 故流域内部各省在科技创新水平、对外开放度、产业结构等方面存在较大差异, 若合成的试点区域能够很好地拟合实验区域在政策实施前的情况, 那么就可利用政策实施后试验区实际值与合成区合成值的差值来衡量政策的效应.图 1 是 2013—2019 年试点省份实际值与试点省份合成值之差.可以看出, 政策出台之前, 两个省份实际值与合成值之间的差值近于 0, 说明合成区较好地拟合了实验区在政策实施前的情况.政策出台后, 河南省与合成地区的高质量发展水平差距出现扩大趋势, 且随时间逐渐增加.内蒙古与合成地区的高质量发展水平的差距同样也出现扩大趋势, 但在突增后缓慢增加.这可能是因为内蒙古地区初始数字基础设施较差, 而初始数字基础较差的区域往往更能从数字金融发展中获取更高的收益, 再次佐证了前文的结论.综上分析, 国家级大数据综合实验区试点政策的出台确实有助于黄河流域各省的高质量发展.

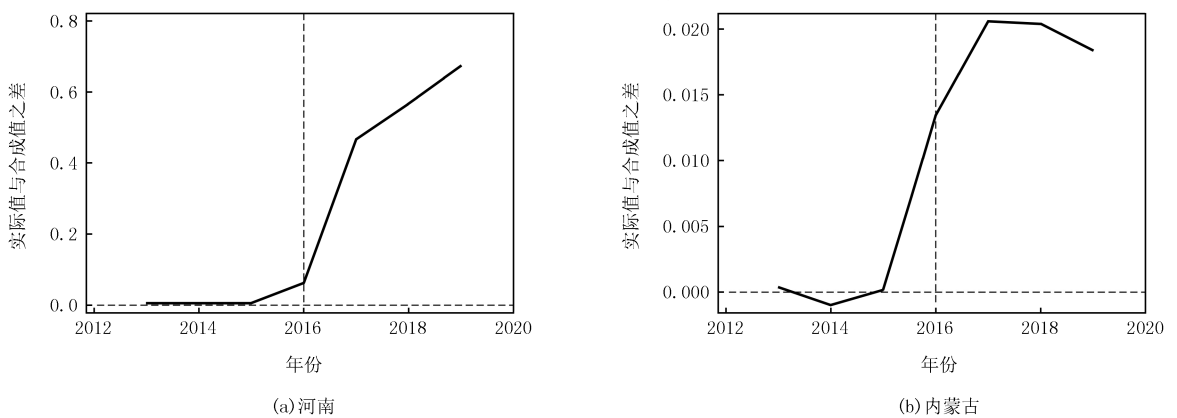


图1 试点省份的处理效应

Fig.1 Treatment effect in pilot provinces and cities

#### 4.2.3 安慰剂检验

为了检验上述结果的有效性和稳健性, 检验河南和内蒙古的国家级大数据综合试验区成立前后各项经济指标的差异是否由其他未观测到的因素所导致, 本文参考文献<sup>[28]</sup>进行安慰剂检验, 即将黄河流域中的每个省份作为假想的试验区, 假设其在 2016 年也成立国家级大数据试验区, 并采用合成控制法利用上文的模型分析各省政策实施前后的高质量发展差异.具体思路为, 比较河南省、内蒙古及其他地区的“干预后 MSPE”与“干预前 MSPE”的比值“RMSPE”.判断依据为, 若政策实施前合成区没有较好地预测真实地区的

结果变量,就会产生较大的“干预前 MSPE”,同样政策实施后合成区没有较好地拟合也会产生较大的“干预后 MSPE”.因此,二者的比值能够很好地判断政策的实施效果.

其中河南和内蒙古分别为其两个组的 RMSPE 值的最高值,高于其他省份,进一步说明了通过合成控制法得出国家级大数据试验区的高质量发展效应的结果是有效和稳健的.

## 5 结论及政策建议

针对数字经济影响黄河流域高质量发展这一现实问题,本文尝试从能源生产率角度给出新的解释.本文基于黄河流域 2013—2019 年的省级数据,运用熵值法分别测度了黄河流域数字经济和高质量发展评价指标,并构建双向固定效应、中介检验、门槛检验等模型多维度的探究数字经济对黄河流域高质量发展的内在机制.

研究表明:数字经济发展具有提升高质量发展水平和能源生产率的双重红利效应,既能推动黄河流域高质量发展,同时亦有助于黄河流域各省份能源生产率的提高;能源生产率提高在数字经济发展赋能黄河流域高质量发展的过程中渠道效应显著,表明能源生产率与数字经济发展能够对黄河流域高质量发展形成推动合力;数字经济发展对黄河流域高质量发展同时还呈现出“边际效应”递增的非线性促进趋势;数字经济发展对黄河流域各省份高质量发展的提升效应在地区分布、人口规模等维度存在异质性特征.

据此,本文提出如下政策建议:

首先,应大力推动黄河流域数字经济发展,推进大数据平台构建、5G 技术发展以及人工智能的应用,进一步完善数字经济基础设施建设,巩固数字经济对黄河流域高质量发展的红利优势.

其次,数字经济通过能源生产率赋能黄河流域高质量发展的作用机制,证明了全要素生产率在数字经济赋能黄河流域高质量发展的动力作用,应充分利用数字技术和信息技术带动全要素生产率提升,进而提升黄河流域整体高质量发展水平.

最后,考虑到数字经济发展对黄河流域高质量发展的积极效应存在地区分布、人口规模等维度的异质性特征,说明在推进数字经济发展的过程中需要因地制宜,实施差异化、多元化的数字经济战略,全面赋能黄河流域高质量发展.

## 参 考 文 献

- [1] 荆文君,孙宝文.数字经济促进经济高质量发展:一个理论分析框架[J].经济学家,2019(2):66-73.  
JING W J, SUN B W. Digital economy promotes high-quality economic development: a theoretical analysis framework[J]. Economist, 2019(2):66-73.
- [2] 宋跃刚,郝夏珍.数字经济对黄河流域经济高质量发展的门槛和空间溢出效应研究[J].河南师范大学学报(自然科学版),2022,50(1):48-58.  
SONG Y G, HAO X Z. The threshold and spatial spillover effects of the impact of digital economy on the high-quality economic development of the Yellow River Basin[J]. Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition), 2022, 50(1):48-58.
- [3] 丁志帆.数字经济驱动经济高质量发展的机制研究:一个理论分析框架[J].现代经济探讨,2020(1):85-92.  
DING Z F. Research on the mechanism of digital economy driving high quality economic development: a theoretical analysis framework[J]. Modern Economic Research, 2020(1):85-92.
- [4] 王娟.数字经济驱动经济高质量发展:要素配置和战略选择[J].宁夏社会科学,2019(5):88-94.  
WANG J. Study on the digital economy drives high-quality economic development: factors allocations and strategic choices[J]. Social Sciences in Ningxia, 2019(5):88-94.
- [5] 张合林,王亚辉,王颜颜.黄河流域高质量发展水平测度及提升对策[J].区域经济评论,2020(4):45-51.  
ZHANG H L, WANG Y H, WANG Y Y. Measurement and improvement of high quality development level in Yellow River Basin[J]. Regional Economic Review, 2020(4):45-51.
- [6] 任保平.数字经济引领高质量发展的逻辑、机制与路径[J].西安财经大学学报,2020,33(2):5-9.  
REN B P. The logic, mechanism and path of digital economy leading high-quality development[J]. Journal of Xi'an University of Finance and Economics, 2020, 33(2):5-9.
- [7] 郭哈.数字经济与实体经济融合促进高质量发展的路径[J].西安财经大学学报,2020,33(2):20-24.  
GUO H. The path of the integration of the digital economy and the real economy to promote high-quality development[J]. Journal of Xi'an

- University of Finance and Economics, 2020, 33(2): 20-24.
- [8] WANG B. Research on the mechanism of digital economy driving the high quality development of manufacturing[J]. E3S Web of Conferences, 2021, 253: 01051.
- [9] 宋洋. 经济发展质量理论视角下的数字经济与高质量发展[J]. 贵州社会科学, 2019(11): 102-108.  
SONG Y. Digital economy and high quality development from perspective of economy development quality theory[J]. Guizhou Social Sciences, 2019(11): 102-108.
- [10] 温琨, 阎志军, 程愚. 数字经济驱动创新新效应研究: 基于省际面板数据的回归[J]. 经济体制改革, 2020(3): 31-38.  
WEN J, YAN Z J, CHENG Y. Research on the effect of digital economy on upgrading innovation capacity: based on provincial-level panel data[J]. Reform of Economic System, 2020(3): 31-38.
- [11] 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]. Management World, 2020, 36(10): 65-76.
- [12] 王瑞荣, 陈晓华. 数字经济助推制造业高质量发展的动力机制与实证检验: 来自浙江的考察[J]. 系统工程, 2022, 40(1): 1-13.  
WANG R R, CHEN X H. The dynamic mechanism and empirical test of digital economy promoting the high-quality development of manufacturing industry—based on the investigation of Zhejiang[J]. Systems Engineering, 2022, 40(1): 1-13.
- [13] 张勋, 万广华, 张佳佳, 等. 数字经济、普惠金融与包容性增长[J]. 经济研究, 2019, 54(8): 71-86.  
ZHANG X, WAN G H, ZHANG J J, et al. Digital economy, financial inclusion, and inclusive growth[J]. Economic Research Journal, 2019, 54(8): 71-86.
- [14] 沈运红, 黄彬. 数字经济水平对制造业产业结构优化升级的影响研究: 基于浙江省 2008—2017 年面板数据[J]. 科技管理研究, 2020, 40(3): 147-154.  
SHEN Y H, HUANG H. Research on influence of digital economy level on industrial structure optimization and upgrading of manufacturing industry: based on panel data of Zhejiang Province from 2008 to 2017[J]. Science and Technology Management Research, 2020, 40(3): 147-154.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 郭家堂, 骆品亮. 互联网对中国全要素生产率有促进作用吗?[J]. 管理世界, 2016(10): 34-49.  
GUO J T, LUO P L. Does the Internet Promote China's Total Factor Productivity? [J]. Journal of Management World, 2016(10): 34-49.
- [18] 关伟, 许淑婷, 郭岫垚. 黄河流域能源综合效率的时空演变与驱动因素[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 150-158.  
GUAN W, XU S T, GUO X Y. Spatiotemporal change and driving factors of comprehensive energy efficiency in the Yellow River Basin [J]. Resources Science, 2020, 42(1): 150-158.
- [19] 刘华军, 曲惠敏. 黄河流域绿色全要素生产率增长的空间格局及动态演进[J]. 中国人口科学, 2019(6): 59-70, 127.  
LIU H J, QU H M. Spatial pattern and distribution trend of green total factor productivity in the Yellow River Basin[J]. Chinese Journal of Population Science, 2019(6): 59-70, 127.
- [20] 韩江波. 基于要素配置结构的产业升级研究[J]. 首都经济贸易大学学报, 2011, 13(1): 29-38.  
HAN J B. The research of industry promotion based on the structure of factor disposition[J]. Journal of Capital University of Economics and Business, 2011, 13(1): 29-38.
- [21] 焦勇. 数字经济赋能制造业转型: 从价值重塑到价值创造[J]. 经济学家, 2020(6): 87-94.  
JIAO Y. Digital economy empowers manufacturing transformation: from value remodeling to value creation[J]. Economist, 2020(6): 87-94.
- [22] 王永仓, 温涛. 数字金融的经济增长效应及异质性研究[J]. 现代经济探讨, 2020(11): 56-69.  
WANG Y C, WEN T. Research on economic growth effect and heterogeneity of digital finance[J]. Modern Economic Research, 2020(11): 56-69.
- [23] 石涛. 黄河流域生态保护与经济高质量发展耦合协调度及空间网络效应[J]. 区域经济评论, 2020(3): 25-34.  
SHI T. Spatial correlation network and regional connected effect of coupling coordination degree between ecological protection and high-quality economic development in the Yellow River regions[J]. Regional Economic Review, 2020(3): 25-34.
- [24] 徐辉, 师诺, 武玲玲, 等. 黄河流域高质量发展水平测度及其时空演变[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 115-126.  
XU H, SHI N, WU L L, et al. High-quality development level and its spatiotemporal changes in the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 115-126.
- [25] 魏楚, 沈满洪. 能源效率及其影响因素: 基于 DEA 的实证分析[J]. 管理世界, 2007(8): 66-76.

- WEI C, SHEN M H. Energy Efficiency and its Influencing Factors: An Empirical Analysis Based on DEA[J]. *Journal of Management World*, 2007(8): 66-76.
- [26] HANSEN B E. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference[J]. *Journal of Econometrics*, 1999, 93(2): 345-368.
- [27] 李治国, 王杰. 数字经济发展、数据要素配置与制造业生产率提升[J]. *经济学家*, 2021(10): 41-50.  
LI Z G, WANG J. Digital economy development, allocation of data elements and productivity growth in manufacturing industry[J]. *Economist*, 2021(10): 41-50.
- [28] ABADIE A, DIAMOND A, HAINMUELLER J. Synthetic Control Methods for Comparative Case Studies: Estimating the Effect of California's Tobacco Control Program[J]. *Journal of the American Statistical Association*, 2010, 105(490): 493-505.

## Digital economy, energy productivity and high-quality development: empirical analysis based on panel data of the provinces in the Yellow River Basin

Li Zhiguo<sup>1</sup>, Huo Ran<sup>1</sup>, Zhou Xing<sup>2</sup>

- (1. China University of Petroleum(EAST) School of Economics and Management, Qingdao 266580, China;  
2. Party and Mass Work Department of China National Petroleum Corporation, Jining 272100, China)

**Abstract:** Through technological innovation, the digital economy has promoted the transformation of energy productivity and gradually becomes a new driving force and engine for improving the high-quality development of the Yellow River Basin. Based on this, this paper builds a theoretical model of the impact of digital economy development and energy productivity on high-quality development. Taking the provincial panel data of the Yellow River Basin from 2013 to 2019 as samples, this paper examines the impact of digital economy development on high-quality development of the Yellow River Basin through empirical models such as panel econometric model, intermediary effect model and threshold effect model. The results show that digital economy has dual effect of promoting high-quality development and improving energy productivity in the Yellow River Basin. Energy productivity has a significant channel effect in the process of digital economy promoting high-quality development in the Yellow River Basin. The influence of digital economy development on the high-quality development of the Yellow River Basin is characterized by nonlinear increase of "marginal effect" and heterogeneity in terms of regional location and population size.

**Keywords:** digital economy; Yellow River Basin; high-quality development; energy productivity

[责任编辑 陈留院 赵晓华]