

绿色发展背景下数字化赋能 全球价值链韧性研究

杨 焱^{1,2}, 谢建国^{2,3}, 邹绍辉¹

(1. 西安科技大学 管理学院, 陕西 西安 710054;

2. 南京大学 长江三角洲经济社会发展研究中心, 江苏 南京 210093;

3. 南京大学 商学院, 江苏 南京 210093)

摘要: 数字化正改变全球价值链分工格局, 成为提升价值链韧性的重要途径。本文利用 2000—2022 年 ADB-MIRO 数据库中世界各国行业投入产出数据, 计算全球价值链韧性和数字化水平, 研究了环境规制冲击下数字化对全球价值链韧性的影响效应及赋能机制。研究发现, 在考虑环境规制影响时, 数字化对全球价值链安全性和稳定性均具有正向影响, 即有助于提升全球价值链韧性。作用机制检验结果表明: 在考虑环境规制冲击时, 数字化主要通过技术创新、贸易数字化、前向关联和贸易服务化路径赋能全球价值链稳定性提升, 但通过后向关联对全球价值链稳定性产生不利影响; 数字化通过前向关联和技术创新路径提高了全球价值链安全性, 但通过贸易数字化、后向关联和服务化路径加剧了全球价值链安全性风险。本文研究从环境规制与数字化转型双重视角为提高全球价值链韧性提供了理论依据和政策启示。

关键词: 绿色低碳转型; 环境规制; 数字化; 全球价值链; 韧性

[中图分类号]F746 [文献标识码]A [文章编号]1002-4034(2026)02-0059-21

引 言

在国际地缘政治冲突加剧、贸易摩擦升级、逆全球化趋势显现, 以及全球经济增长乏力的多重不确定性冲击下, 全球价值链正经历深刻重构。中国各行业在参与

[收稿日期]2024-08-14

[基金项目]国家社会科学基金后期资助项目“绿色低碳政策与中国全球价值链升级研究”(24FJYB033), 教育部人文社会科学研究青年项目“碳减排风险冲击下数字赋能中国出口韧性提升的机制与对策研究”(24YJC630271), 陕西省创新能力支撑计划软科学一般项目“碳减排风险冲击下数字新质生产力赋能陕西产业链韧性提升的机制与对策研究”(2025KG-YBXM-053), 陕西省社会科学基金年度项目“数字经济赋能陕西制造业产业链韧性提升的机制与对策研究”(2024D011)

[作者简介]杨焱(1989—), 女, 甘肃平凉人, 西安科技大学管理学院讲师、硕士生导师, 南京大学长江三角洲经济社会发展研究中心, 研究方向: 能源与环境经济、国际经济与贸易; (通讯作者)谢建国(1973—), 男, 湖南耒阳人, 南京大学商学院、长江三角洲经济社会发展研究中心教授、博士生导师, 研究方向: 国际贸易; 邹绍辉(1976—), 男, 四川达州人, 西安科技大学管理学院教授、博士生导师, 研究方向: 能源经济

全球分工过程中,面临日益严峻的安全与稳定性风险,产业链与供应链安全已被提升至国家战略高度。长期以来,全球外包与专业化分工的深化,伴随着各类不确定性冲击的频发,包括地缘政治紧张、贸易保护主义抬头、技术垄断加剧、金融危机与公共卫生事件等,共同加速了全球价值链的结构性调整,对全球经济增长形成持续负面冲击(Stoverink等,2020;李之旭和彭水军,2025)。在此背景下,产业链与供应链的“断链”风险显著上升,增强全球价值链韧性已成为各国亟待解决的重大议题。党的二十大报告明确提出“着力提升产业链供应链韧性和安全水平”。全球价值链作为产业链与供应链运行的微观基础,系统审视并探索提升中国各行业全球价值链韧性的路径,对推动经济高质量发展、维护国家经济安全具有重要战略意义。

需要指出的是,环境规制作为应对气候变化的核心政策工具,在促进绿色转型的同时,对经济安全与稳定构成挑战。碳税、碳排放权交易等政策的广泛实施,在推高国内能源与产品价格、抑制生产与消费需求的同时,通过影响生产效率、劳动力资源配置及中间品贸易等渠道,削弱一国贸易竞争力(Jaffe等,1995;段玉婉等,2023),加剧国内经济波动与全球价值链嵌入的不确定性(Chen等,2024;王博和徐飘洋,2021),从而对价值链韧性造成潜在风险。与此同时,数字经济正在成为重塑全球分工格局的关键力量。数字技术与生产贸易活动的深度融合,不仅能催生新业态、推动价值链整合,还有助于提升国家经济运行效率与系统安全性(杜直前,2023),为构建兼具效率、安全与韧性的全球价值链体系提供新的路径。

随着生态环境约束趋紧与全球价值链重构,环境规制作为关键外部冲击的经济影响受到广泛关注。环境规制通过成本效应对经济产生负面影响,一方面规制内化了企业的减污降碳成本,导致污染型企业面临减产涨价(Anand和Giraud-Carrier,2020)、融资约束加剧(王营和冯佳浩,2022)以及中间品投入价格上升的产品替代等风险(Shapiro和Walker,2018)。另一方面,在减排技术尚不成熟的阶段,环境规制的成本压力挤出创新投资,抑制企业创新积极性,甚至引发低端技术锁定(Zhang等,2024)。此外,环境规制的影响经过生产网络传导,对上游关联行业的创新活动产生负向冲击(余典范等,2023),并加剧多方主体间的信息不对称,进而扭曲资源配置。在企业与政府层面,企业可能隐瞒或虚报环境信息,增加政府监管难度(Stiglitz,2002),并且在企业之间形成因技术领先者隐藏环保措施而加剧的信息壁垒(Porter和Linde,1995)。在国际层面,各国环境标准不一、信息共享机制不完善,为跨国企业规避监管提供了空间(Barrett,2003)。这种信息不对称导致资源无法流向高生产率部门,抑制了高附加值产业发展,最终削弱一国贸易竞争力。

全球价值链韧性是本文重点研究对象。现有研究关注到了全球生产网络在冲击下的稳定与恢复能力,但主要对韧性影响因素展开探讨。Khalilabadi等(2020)指出,“扩链”与“稳链”是提升韧性的关键,具体表现为生产效率、质量控制及供应链协同关系的增强。从外部看,贸易摩擦、逆全球化及各类不确定性冲击会通过干扰供需、暴露脆弱性直接削弱价值链安全(姚曦和张丽,2020)。从内部看,一国的价值链获利能力、分工地位及参与深度构成其韧性的基础(魏龙等,2022),而创新不足、治理滞后等结构性问题则易导致其在冲击下面临外移或断裂风险(刘志彪等,2020;Bonadio等,2021)。在应对机制方面,现有研究从风险类型出发,分

析外部冲击如何通过成本传导引发企业退出、环节外移或链条重构等不同形式的“脱链”“断链”风险,并据此探讨治理路径(Um和Han,2021;甄珍和王凤彬,2022)。

近年来,各个产业数字化进程显著加速。关于数字化影响效应及风险应对的研究文献,可归纳为以下三个层面:在宏观经济增长层面,数字化通过降低交易成本(Anenberg和Kung,2015)、优化要素资源配置效率(杨汝岱等,2023),不仅有效提升了全要素生产率(柏培文和张云,2021),也为数字经济与实体经济深度融合注入了持续动力(陈雨露,2023)。在企业行为层面,数字化推动企业技术创新能力提升(Appio等,2021)与经营绩效改善(Guo等,2023)。从中观视角看,数字化促进了服务业结构升级(庞瑞芝和汪青青,2023)、强化了产业间关联,并助力企业在全球价值链中实现地位攀升(马述忠等,2024)。在风险维度上,数字化呈现出双重效应:一方面,它能增强企业应对突发冲击的韧性,例如通过优化供应链管理体系提升系统稳定性(何青等,2024);另一方面,数字化可能引发新型风险,包括加剧产业链波动(张鹏杨等,2024),以及在监管体系不完善时放大金融领域的系统性风险(杨东,2015)。

综上所述,环境规制引起的成本效应、技术创新和资源配置扭曲对国内经济与国际贸易竞争优势的影响,以及数字化发展对经济绩效、全球价值链地位与经济稳定性的积极作用受到学者们的广泛关注。然而,环境规制是否会对全球价值链韧性产生负面影响?在各国加强环境规制的背景下,数字化如何调节乃至增强全球价值链韧性?目前,从减污降碳目标出发,系统考察环境规制约束下数字化对全球价值链韧性影响及其机制的研究仍较为缺乏。为了解决这一问题,本文在理论层面探讨环境规制冲击下数字化可能存在的赋能机制,并构建“国家—行业—年份”三维面板数据集,通过计量模型实证检验数字化对全球价值链韧性的影响。本文边际贡献如下:其一,立足环境规制加剧经济不确定性、全球价值链韧性问题凸显的现实背景,识别数字化在应对外部政策冲击时对全球价值链韧性的影响效果与作用渠道。其二,以全球价值链的稳定性与安全性为研究切入点,尝试通过全球价值链长度差距与波动性两类指标,分别刻画其在结构安全与运行稳定两个维度的表现。其三,针对当前关于数字化影响全球价值链韧性的机制分析相对不足的现状,将国家层面数字化水平细化至部门层面,识别不同“国家—行业”数字化渗透程度的异质性,从而更精准地揭示其影响路径。

一、理论分析与研究假说

数字化可通过三种渠道缓解环境规制冲击,提升全球价值链韧性。一是数字化通过技术创新提升全球价值链网络运行效率和竞争优势,对环境规制等外部不确定性带来的冲击进行精准、迅速响应,增强全球价值链韧性。二是数字化通过产业关联加强不同地理区位国家间、产业间功能互联,降低贸易成本进而抵御环境规制的成本效应,提升全球价值链网络安全性和韧性。三是数字化通过贸易数字化和服务化赋能全球价值链,提高全球价值链遭受环境规制冲击后的快速重组与革新能力,

增强价值链韧性。因此,本文将从技术创新、产业关联、贸易数字化和服务化四个方面分析环境规制影响下数字化赋能全球价值链韧性的作用机制。

第一,技术创新。数字化对技术创新的影响主要体现在:一是数字化网络共享平台的应用加快要素和信息流通速度,降低企业、科研院所等创新主体的信息获取和学习成本,有助于缓解环境规制冲击带来的成本效应。根据技术扩散理论(Stoneman 和 Ireland, 1983),供应链中企业之间加深合作有助于数字技术和数据信息在整个链条上的共享与溢出。通过原材料采购和生产要素投入,企业能够获得供应商在数字化转型中带来的技术红利。这不仅提高了全球价值链网络的运行效率和竞争力,还使企业能够快速、精准应对环境规制带来的不利影响,拓展了其在全球价值链中的参与深度(Yu 和 Zhang, 2022)。二是数字化缓解技术创新风险,为技术创新提供资金支持,抵御环境规制的挤出效应。环境规制会抑制企业技术创新投资,但数字普惠金融、数字支付等技术,能够克服传统金融机构信贷限制,缓解创新研发的融资约束,抵御环境规制的不利冲击。此外,数字化技术创新能够精准预测外部冲击,提高全球价值链分工中环境规制政策等外部冲击下企业适应供应链中断、提供快速响应、保持竞争优势的能力,进而提升企业出口绩效和全球价值链韧性(Azar 和 Ciabuschi, 2017)。据此,本文提出:

假说1 在应对环境规制带来的冲击时,数字化能够推动技术创新,从而增强全球价值链的韧性。

第二,产业关联。一方面,数字化实现网络化联结与信用共享。数字化平台打破了地理与组织边界,通过标准化接口与模块化架构将全球范围内的生产商、服务商及金融机构动态联结,形成高度集成且可灵活配置的虚拟生产网络。区块链及分布式账本等技术深度嵌入数字化平台,构建起可验证、可追溯的链上信用体系,大幅降低跨国交易中的信息验证与合约执行成本。这种“技术嵌入型治理”使得企业能够以较低边际成本实时检索、匹配与接入全球产能资源,实现从研发设计到售后服务的全周期分布式协同。由此形成的生态化联结不仅提升了产业间的技术经济关联密度,更能通过多路径、多节点的网络化结构增强系统冗余度,使价值链在面临环境规制冲击时能够快速重组资源流向,有效缓冲外部风险(Hohenstein 等, 2015)。另一方面,数字化与产业链协同效应。数字化产业与产业数字化转型相互协同融合,加强对生产网络中上游和下游产业部门之间的渗透,提高了产业关联程度。上游和下游产业数字化通过前向关联和后向关联为本产业全球价值链提供数字技术支持,助力其参与全球价值链网络中最具技术性和效率性的行业,有利于打破产业间信息壁垒,推动全球价值链网络中的技术关联(Baqae 和 Farhi, 2020)。数字化推动产业前向关联使价值链向下游消费端延伸,提供不可或缺的关键技术和中间品,有助于提高全球价值链稳定性和安全性。相反,数字化促使产业后向关联将上游的国内外供应商纳入价值链,通过使用更优质的上游投入品来提供更高价值的最终产品,有利于全球价值链安全性。同时,后向关联的加强意味着全球价值链将更加依赖于上游关键中间品供给,进而暴露于上游供应因地缘政治、自然灾害导致的原材料或零部件断供引起的“断链”风险。据此,本文提出:

假说2 在应对环境规制带来的冲击时,数字化通过提高产业关联程度,有助于提升全球价值链韧性。

第三,贸易数字化。依托大数据分析与人工智能等技术,供应商能够更精准地管理订单需求,拓展下游市场覆盖范围,并有效缩短库存滞留时间,提升贸易效率(盛斌和郝夏珍,2025)。全球贸易供应链效率的提升,为企业参与国际竞争提供了稳定高效的运行保障,增强了各国抵御外部冲击的能力,从而在一定程度上缓解了环境规制所带来的全球供求网络不确定性,强化了全球价值链的韧性(戴翔和张雨,2023)。贸易数字化还促进了企业贸易主体的多元化,减少因过度依赖单一主体而导致的“卡链”“断链”风险,进而提升全球价值链的稳定性。随着各国、各行业贸易数字化水平的提升,全球价值链逐步实现全链条数字化,系统在面临环境规制等冲击时,展现出更强的快速重组与更新能力,整体波动性随之下降。在全链条数字化的支撑下,企业能够更快速地响应市场需求变化、优化生产计划、精准管理库存,从而平滑全球价值链各环节供需波动,提升整个价值链运营稳定性。然而,贸易数字化在提升效率与稳定性的同时,使全球价值链日益依赖于少数科技巨头所提供的操作系统、云平台与人工智能算法。数据作为新型关键生产要素,可能成为全球价值链中的潜在“卡脖子”环节,如果国家或企业失去对核心数据的控制权,其价值链安全将面临严峻挑战。据此,本文提出:

假说3 在考虑环境规制冲击时,数字化推动贸易数字化发展,有助于提升全球价值链稳定性,但可能加剧全球价值链安全性风险。

第四,贸易服务化。数字化视角下的贸易服务化主要体现在两方面:一是传统产业贸易服务化。产业与物联网、互联网平台、工业机器人等数字化技术、产品深度融合实现智能生产模式,在提高生产效率的同时使产品增值部分更靠近服务环节,贸易模式由单一“产品”转向“产品+服务”。高效的数字服务平台、专业物流服务和通关服务,简化了跨境交易流程,缩短了通关和时间成本,使全球价值链运行更加流畅,减少了因物理距离和制度差异等外部干扰带来的不确定性,增强了流程稳定性。二是数字服务贸易的快速发展。贸易服务化意味着贸易流程服务化、贸易产品服务化,以及数据等服务要素作为中间品投入,降低出口风险和不确定性(刘斌等,2016)。然而,贸易服务化也会产生“服务依赖”,尤其发展中国家在融入全球价值链时,在技术和核心工业软件、专业咨询、平台标准等高端服务上形成对发达国家巨头的深度依赖。这种“服务依赖”比单纯的货物依赖更隐蔽、更难替代,对国家嵌入全球价值链安全构成严峻挑战。据此,本文提出:

假说4 在考虑环境规制冲击时,数字化通过贸易服务化增强全球价值链稳定性,但会加剧全球价值链安全性问题。

二、研究设计与指标构建

(一)计量模型

为了考察环境规制作为外部冲击时数字化对全球价值链韧性的影响,本文引入环境规制与数字化投入的交互项,具体建立如下计量模型:

$$Vol_pl_{jct} = \theta_0 + \theta_1 EPI_{ct} \times Digi_{jct} + \theta_2 EPI_{ct} + \theta_3 Digi_{jct} + \theta X_{ct} + \alpha_{industry} + \alpha_{year} + \alpha_{country} + \varepsilon_{jct} \quad (1)$$

$$Gap_pl_{jct} = \beta_0 + \beta_1 EPI_{ct} \times Digi_{jct} + \beta_2 EPI_{ct} + \beta_3 Digi_{jct} + \beta X_{ct} + \mu_{industry} + \mu_{year} + \mu_{country} + \vartheta_{jct} \quad (2)$$

式(1)和式(2)中, $EPI_{ct} \times Digi_{jct}$ 为 c 国 t 年的环境规制强度与 c 国 j 行业在 t 年的数字化水平的交互项。估计系数 θ_1 和 β_1 的大小、符号及显著性反映了数字化赋能全球价值链稳定性和安全性效应大小, 是本模型重点关注的变量。

(二) 变量说明与数据来源

被解释变量为全球价值链韧性, 采用式(5)和式(6)测算得到的全球价值链稳定性 (Vol_pl) 和安全性 (Gap_pl) 指标衡量; 解释变量是环境规制强度, 采用测算得到的各国环境绩效指数 (EPI) 和各国污染治理绩效 (ER) 衡量, 前者在主要模型估计中使用, 后者则用于稳健性检验分析; 数字化水平是本文另外一个重要解释变量, 采用式(3)测算得到的 $Digi$ 指标衡量。基于现有文献中关于全球价值链韧性影响因素的研究, 本文选择以下控制变量: ①经济规模 (GDP), 通过国内生产总值来衡量; ②进口依赖度 (Imp), 以各国商品和服务的进口总额与 GDP 的比值进行评估; ③出口依赖度 (Exp), 通过各国商品和服务的出口总额与 GDP 的比值来衡量; ④产业结构 ($Stru$), 使用各国工业增加值占 GDP 的比例进行衡量; ⑤对外投资水平 ($Inve$), 采用各国的对外投资净额作为指标。

1. 环境规制强度测量

纵观国内外学者相关研究, 对于各国环境规制强度的衡量主要有以下几种角度: 一是聚焦于特定环境规制政策, 分析该政策作为外部事件对环境的影响; 二是用政府治污投资大小、治理污染设施运行费、环境补贴等污染治理支出强度以及环境信息披露等指标衡量市场型环境规制; 三是用环境立法、污染排放标准等强制型指标衡量强制型环境规制; 四是利用政府绿色低碳政策下的污染排放量强度变化构建环境规制强度综合指数衡量。本文采用综合指数法来评估全球各国的环境规制强度。具体而言, 利用耶鲁大学与哥伦比亚大学联合发布的环境绩效综合指标 EPI 作为衡量工具^①。该指数基于气候变化表现、环境健康以及生态系统活力等 11 个问题领域的 40 项指标, 对 180 个国家进行评分, 得分越高, 说明一国在生态环境保护方面的表现越好, 可持续发展能力越强, 其环境规制强度越大。由于 EPI 指标在 2004 年、2010 年各年份的计算标准发生了变化, 为了使指标具有纵向可比性, 本文进行标准化处理, 各国环境规制强度如图 1 所示。根据图 1 显示, 西方各国、东欧地区的环境规制水平在各年份明显高于拉丁美洲、亚太地区以及中东地区, 东南亚及中东各国的环境规制水平较低。从环境规制变化率来看, 2000—2020 年处于波动状态, 并且 2016 年以后全球各国环境规制整体水平有所下降。

^①资料来源: EPI 数据官网, <https://epi.yale.edu/measure/2024/EPI> (访问日期 2025-07-16)。

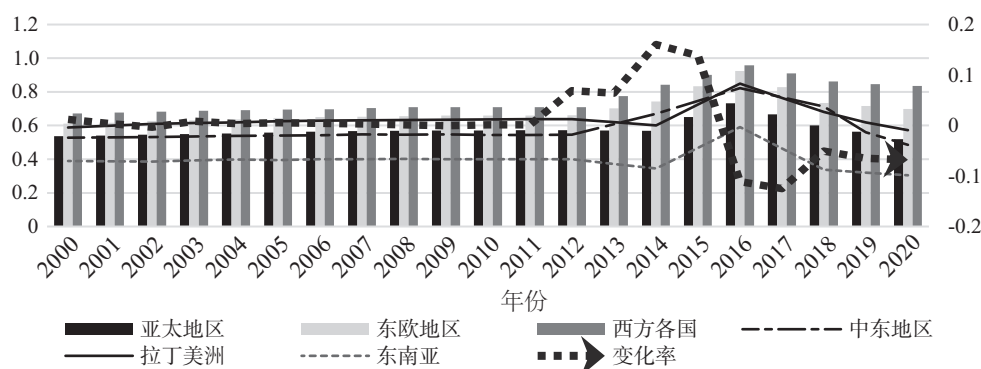


图 1 世界各国不同地理区位的环境规制水平

2. 数字化水平测量

不同行业对数字经济的依赖程度各异，利用投入产出关系能够较好刻画行业的数字化水平。因此，借鉴 Calvino 等(2018)、杨仁发和郑媛媛(2023)的做法，选择与数字经济存在紧密联系的电信行业(J61)及信息技术和其他信息服务行业投入之和(J62_63)作为各行业数字化水平的衡量指标。具体地，利用世界投入产出表计算各行业完全消耗系数，得到如下数字化水平计算方式：

$$Digi_{j,c,t} = b_{j,c,t} + \sum_{k=1}^n b_{j,c,t} b_{j,c,t} + \sum_{s=1}^n \sum_{k=1}^n b_{j,c,t} b_{j,c,t} b_{j,c,t} + \dots \quad (3)$$

式(3)中， $b_{j,c,t}$ 为 c 国 j 行业在 t 年的数字经济投入的直接消耗量， $\sum_{k=1}^n b_{j,c,t} b_{j,c,t}$ 和 $\sum_{s=1}^n \sum_{k=1}^n b_{j,c,t} b_{j,c,t} b_{j,c,t}$ 分别为初次和次阶的间接消耗，累计求和的 $Digi_{j,c,t}$ 为各行业所消耗的全部数字化投入。依据测算得出的各国各行业数字化指数，细分行业的统计数据显示(图 2)，服务业整体的数字化水平远高于制造业。这一现象符合全球产业数字化发展事实：批发零售、教育、医疗、运输、邮政信使和金融等服务业依赖数字技术带来的机遇，云计算、人工智能等更容易应用于业务流程优化、客户管理和数据分析，有助于提高行业整体数字化水平。相比较而言，制造业因其重资产发展模式，数字化改造的难度和成本较高，因此数字化水平较低。

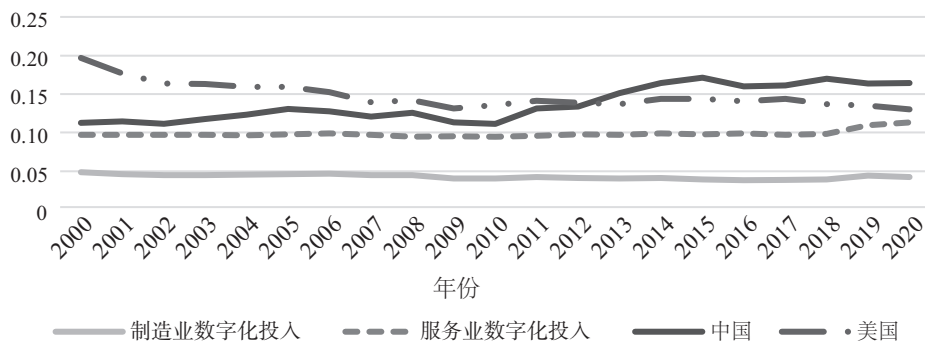


图 2 世界各国细分行业数字化投入水平

3. 各国细分行业的全球价值链韧性测量

全球价值链韧性是指其在应对冲击时维持功能稳定、实现动态恢复的综合能力 (Hohenstein 等, 2015)。因此, 本文重点关注面临外部扰动时全球价值链最终保持稳定性和安全性的能力。具体地, 稳定性更加强调负面冲击下全球价值链的“抗波动能力”, 确保其平稳运行, 而安全性则是指各国参与全球价值链分工时是否机会平等和分工多元化, 是否容易因过度依赖其他国家而发生“断链”风险, 以及确保价值链的必要参与权和价值获取权的能力 (李之旭和彭水军, 2025)。根据全球价值链稳定性内涵, 参考 John 等 (2008) 的做法, 通过计算各国全球价值链长度的波动率来衡量全球价值链稳定性, 具体方法如下:

$$pl_{j, c, t} = plv_gvc_{j, c, t} - \overline{plv_gvc_t} \quad (4)$$

$$Vol_pl_{j, c, t} = \left[\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (pl_{j, c, t} - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T pl_{j, c, t})^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

式(4)和式(5)中, $plv_gvc_{j, c, t}$ 是 c 国 j 行业 t 年的前向全球价值链长度。该指标根据 OECD 世界投入产出表数据计算得到^①; $\overline{plv_gvc_t}$ 为所有行业的全球价值链长度平均值, 定义为系统性风险; $pl_{j, c, t}$ 则为剔除系统性风险后 c 国 j 行业 t 年的全球价值链长度; T 为观测窗口期, 本文将移动窗口期设置为 3 年, $Vol_pl_{j, c, t}$ 衡量了 c 国 j 行业在 t 年的全球价值链稳定性。该值越大意味着全球价值链波动程度越高, 稳定性较低^②。

全球价值链安全性聚焦于国际分工中的机会均等与结构多元性问题。其核心关切在于, 一方面, 各国基于比较优势的产业能否有效融入全球价值链体系, 避免被排斥或边缘化; 另一方面, 这些产业能否嵌入价值链的多个环节, 实现分工路径的多元化。本文着重考察各国各行业在全球价值链中维护其基本参与权限与价值获取能力的关键能力, 因此采用本国与世界各国各行业全球价值链长度最大值之间的差距 (Gap_pl) 衡量。理论上, 全球价值链嵌入长度较大则该差值越小, 说明该国在全球范围内配置资源, 可以显著降低生产成本、提高生产效率, 并且价值链在某个节点受损时, 可以通过寻找替代供应商来分散风险。因此, 指标 Gap_pl 能够衡量一国全球价值链的参与权、持续性与生存力以及话语权与利益分配权, 具体计算公式如下:

$$Gap_pl_{j, c, t} = \max(plv_gvc_{j, t}) - plv_gvc_{j, c, t} \quad (6)$$

式(6)中, $Gap_pl_{j, c, t}$ 为 c 国 j 行业在 t 年嵌入全球价值链的长度与世界各国最大值之间的差距。该数值越高, 表明该国相关行业在价值链中的嵌入深度越浅, 与优势国家前沿的技术距离越远, 全球价值链安全面临的风险越大。

①资料来源: plv_gvc 指标, 对外经济贸易大学 UIBE-GVC 数据库 <http://gvcdb.uibe.edu.cn/gvc.html> (访问日期 2025-10-11)。具体方法参见黄蕙萍等 (2020)。

②篇幅所限, 本文计算并绘制的全球价值链稳定性和安全性指标图形备索。凡备索资料均可登录对外经济贸易大学学术刊物编辑部网站“在线阅读”栏目查询、下载。

4. 数据来源

各国行业层面全球价值链韧性指标所需数据来自 ADB-MRIO 2022 全球价值链长度数据表^①，各国环境规制强度指标数据来自耶鲁大学环境绩效指数 EPI 官网^②；数字化投入水平指标数据来自 2000—2018 年经济合作与发展组织(OECD)最新公布的世界各国各行业投入产出表^③，并结合 ADB-MRIO 数据库中 2022 年世界投入产出表数据将各国各行业数字化水平更新至 2022 年。因此，本文样本观测值为 OECD 世界投入产出表涉及的共计 65 个国家、45 个行业，时间区间为 2000—2022 年(其中，2021 和 2022 年的数据用于稳健性检验)。控制变量各指标数据来自世界银行官网(World Bank)统计数据库^④。

三、实证分析

(一) 基准回归与分析

表 1 统计了数字化与环境规制交互项对全球价值链波动性的影响，列(1)只加入所有控制变量，同时控制了行业、年份和国家层面固定效应。列(2)在列(1)估计结果的基础上加入环境规制 *EPI* 作为解释变量，同时控制了行业、年份和国家层面固定效应，环境规制估计系数在 1%统计水平下显著为负，说明环境规制降低了全球价值链波动性。列(3)在列(1)的基础上引入数字化水平与环境规制交互项，*Digi* 的估计系数与交互项在 1%显著性水平上为负，初步表明数字化具有积极赋能

表 1 数字化、环境规制影响全球价值链稳定性的基准回归

项目	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>Vol_pl</i>	<i>Vol_pl</i>	<i>Vol_pl</i>	<i>Vol_pl</i>	<i>Vol_pl</i>	<i>Vol_pl</i>
<i>Digi</i>	—	—	-0.029 4*** (0.0079)	-0.020 4*** (0.006 1)	-0.019 5** (0.006 5)	-0.018 9** (0.007 9)
<i>EPI</i>	—	-0.003 0*** (0.000 8)	—	-0.002 6*** (0.000 4)	-0.010 4*** (0.000 5)	-0.002 4*** (0.000 8)
<i>EPI</i> × <i>Digi</i>	—	—	-0.001 5*** (0.000 1)	-0.001 1*** (0.0001)	-0.000 8*** (0.0001)	-0.000 3*** (0.000 1)
控制变量	是	是	是	是	是	是
行业效应	是	是	是	是	是	是
年份效应	是	是	是	否	是	是
国家效应	是	是	是	否	否	是
样本量	57 728	57 728	57 728	57 728	57 728	57 728
调整 R ²	0.281 0	0.282 6	0.228 3	0.067 3	0.185 4	0.283 5

注：*、**和***分别代表估计系数在 10%、5%和 1%的水平上显著，括号内的数值为稳健标准误。下表同。

①亚洲开发银行数据库，<https://www.adb.org/what-we-do/data/regional-input-output-tables> (访问日期 2024-03-21)。

②EPI 指标，耶鲁大学环境绩效指数官网，<https://epi.yale.edu/> (访问日期 2024-04-16)。

③OECD 数据库，<https://www.oecd.org/en/data/insights/statistical-releases/release-dates-for-oecd-statistics-news-releases.html> (访问日期 2024-06-12)。

④世界银行官网数据库，<https://data360.worldbank.org/en/search> (访问日期 2024-06-26)。

效应，能够助力环境规制降低全球价值链波动性，并且在数字化发展背景下环境规制能够提升全球价值链稳定性。列(4)至列(6)中，在控制变量基础上依次纳入行业、年份及国家固定效应，结果显示数字化水平与环境规制的交互项系数均在 1% 的水平上显著为负。这说明，数字化对环境规制具有显著的调节作用，能够增强后者对全球价值链稳定性的积极影响。

表 2 估计了数字化与环境规制交互项对全球价值链安全性的影响。列(1)只加入各个控制变量，同时控制了行业、年份和国家层面固定效应。列(2)在列(1)基础上只加入环境规制 *EPI* 作为解释变量，同时控制了行业、年份和国家层面固定效应，环境规制的估计系数在 1% 的水平上显著为正，说明其加剧了全球价值链安全风险。列(3)在列(1)的基础上引入环境规制及其与数字化的交互项，结果显示 *EPI* × *Digi* 的估计系数却在 1% 的水平上显著为负，表明数字化能够有效缓解环境规制对全球价值链安全性的不利冲击，助力环境规制降低本国全球价值链长度与贸易强国之间的差距，提升全球价值链安全性。列(4)至列(6)依次加入控制变量与行业、年份、国家固定效应后，数字化水平与环境规制的交互项始终在 1% 的水平上显著为负，表明数字化能够改善环境规制引致的全球价值链安全风险。

表 2 数字化、环境规制影响全球价值链安全性的基准回归

项目	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>Gap_pl</i>	<i>Gap_pl</i>	<i>Gap_pl</i>	<i>Gap_pl</i>	<i>Gap_pl</i>	<i>Gap_pl</i>
<i>Digi</i>	—	—	-0.3016*** (0.0510)	-0.5044*** (0.0751)	-0.5884*** (0.0751)	-0.3627*** (0.0510)
<i>EPI</i>	—	0.0390*** (0.0070)	—	0.0711*** (0.0025)	0.0804*** (0.0029)	0.0216*** (0.0071)
<i>EPI</i> × <i>Digi</i>	—	—	-0.0099*** (0.0008)	-0.0091*** (0.0008)	-0.0097*** (0.0008)	-0.0066*** (0.0007)
控制变量	是	是	是	是	是	是
行业效应	是	是	是	是	是	是
年份效应	是	是	是	否	是	是
国家效应	是	是	是	否	否	是
样本量	57 728	57 728	57 728	57 728	57 728	57 728
调整 R ²	0.8071	0.7953	0.8072	0.7630	0.7731	0.8073

(二) 稳健性检验

为了确保本文基准估计结果稳健可靠，本文进行以下稳健性检验。

(1) 更换全球价值链韧性的测算方式。采用世界投入产出表中后向全球价值链长度指标 *ply_gvc*，根据式(4)和式(6)计算全球价值链稳定性 *Vol_pl_new* 和安全性 *Gap_pl_new*。前向全球价值链长度反映初始增加值抵达最终需求的路径跨度，后向全球价值链长度表征从最终需求到初始投入的追溯距离，两者均能反映全球价值链分工的深化。本部分稳健性检验纳入了 2000—2022 年数据，具体估计结果可见表 3 列(1)和列(4)。结果显示环境规制依然能够显著降低全球价值链波动性，

但会加剧全球价值链安全性。环境规制与数字化的交互项估计系数依然显著为负，这与前文估计结果一致，说明数字化具有赋能效应，能够降低环境规制对全球价值链韧性的不利影响。

(2) 更换环境规制的替代变量。采用各国污染物指标，重新计算得到的环境规制指标 *RE* 替换工具变量^①。表 3 列(2)和列(5)结果显示，*RE* 的估计系数在列(2)显著为负，列(5)显著为正，交互项 *RE* × *Digi* 的估计系数均显著为负，表明环境规制显著降低了全球价值链波动性并加剧了安全性风险，而数字化与环境规制的交互效应有助于提升全球价值链稳定性和安全性。该结论与前文估计结果基本一致。

表 3 数字化影响全球价值链韧性的稳健性检验

项目	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	<i>Vol_pl_new</i>	<i>Vol_pl</i>	<i>Vol_pl_new</i>	<i>Gap_pl_new</i>	<i>Gap_pl</i>	<i>Gap_pl_new</i>	<i>Gap_pl</i>
<i>Digi</i>	-0.271 3*** (0.071 5)	-0.069 7* (0.038 4)	-0.233 9** (0.094 4)	-0.360 5*** (0.122 9)	-0.067 9 (0.109 8)	-0.387 2*** (0.121 9)	-0.013 6*** (0.003 1)
<i>EPI</i>	-0.008 5*** (0.002 7)	—	—	0.046 1*** (0.008 7)	—	—	—
<i>EPI</i> × <i>Digi</i>	-0.004 4*** (0.001 1)	—	—	-0.007 7*** (0.002 1)	—	—	—
<i>RE</i>	—	-0.008 2*** (0.001 3)	-0.003 5*** (0.000 9)	—	0.025 2*** (0.009 5)	0.029 6** (0.011 9)	0.032 1*** (0.008 5)
<i>RE</i> × <i>Digi</i>	—	-0.003 1*** (0.000 9)	-0.026 0** (0.012 5)	—	-0.055 7*** (0.010 8)	-0.056 3*** (0.012 5)	-0.036 2*** (0.011 5)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
行业效应	是	是	是	是	是	是	是
年份效应	是	是	是	是	是	是	是
国家效应	是	是	是	是	是	是	是
样本量	65 361	57 728	57 728	65 361	57 728	57 728	65 361
调整 R ²	0.328 8	0.284 0	0.302 6	0.857 8	0.807 2	0.895 1	0.830 3

(3) 同时更换全球价值链韧性和环境规制测算方式。运用后向全球价值链长度 *ply_gvc* 计算得到的全球价值链韧性指标作为被解释变量，以污染物强度计算得到的环境规制 *RE* 及其与数字化水平的交互项为核心解释变量。表 3 列(3)和列(6)结果显示，环境规制及其与数字化的交互项与前文一致，环境规制依然能够降低新的指标衡量下的全球价值链波动性并加剧全球价值链安全性风险，但其与数字化的交互项能够有效提升全球价值链稳定性、缩小与贸易强国全球价值链长度的差距，提高安全性。上述结果证明，基准估计的结论是稳健且可靠的。

(4) 以各国数字化应用水平作为数字化指标的替代变量。本部分采用各国互联网普及率作为数字化的替代变量，具体数据来自国际电信联盟(ITU)官网^②。表 3

①篇幅所限，工具变量 *RE* 的计算方式见备索资料。
②国际电信联盟(ITU)官网，<https://www.itu.int/zh/pages/default.aspx#/zh>（访问日期 2024-04-18）。

列(7)结果显示,环境规制与数字化水平的交互项系数为负,并通过显著性检验。该结果表明,提高国家层面的数字化应用水平能够有效缓冲环境规制对全球价值链安全性的不利影响。

(三)内生性检验

根据上文结论,数字化产生赋能效应,促使环境规制对全球价值链韧性产生积极影响。按照本文的定义,全球价值链韧性提升通常伴随嵌入长度拓展与分工深化,但全球价值链嵌入过程中的学习效应,又可能反向推动数字化水平提升并调整一国环境规制强度,形成反向因果关系。因此,本文构建以下工具变量以解决内生性问题。

(1)计算代表各国生物多样性的物种保护指数 SPI ,作为环境规制强度的工具变量(IV_1)。物种保护程度反映了各国对生态环境中的生物多样性保护的政策努力程度。物种保护程度越大,说明该国环境规制越严格,但全球价值链分工难以对各国物种保护程度产生影响,满足工具变量的相关性和排他性。表 4 列(1)和列(3)结果显示,在以工具变量 IV_1 衡量的环境规制为解释变量时,其与数字经济交互项对全球价值链韧性依然具有积极影响。

表 4 数字化影响全球价值链韧性的内生性检验

项目	(1)	(2)	(3)	(4)
	Vol_pl	Vol_pl	Gap_pl	Gap_pl
	IV_1	IV_2	IV_1	IV_2
$Digi$	-0.017 6 *** (0.001 4)	—	—	—
IV_2	—	-0.030 7 *** (0.004 1)	—	-0.029 1 *** (0.004 1)
$RE(IV_1)$	-0.004 6 *** (0.001 3)	-0.004 5 *** (0.001 4)	0.027 4 *** (0.004 9)	0.012 8 ** (0.005 4)
$Digi \times RE(IV_1)$	-0.051 3 *** (0.014 7)	-1.353 8 *** (0.011 8)	-0.058 3 *** (0.015 1)	-0.005 1 *** (0.000 8)
Kleibergen-Paaprklm 值	962.478	955.304	962.478	955.304
Kleibergen-Paaprkwald 值	964.940	1.3e+04	964.940	1.3e+04
控制变量	是	是	是	是
样本量	57 728	57 728	57 728	57 728
调整 R^2	0.283 1	0.283 2	0.800 5	0.807 3

(2)设定工具变量 IV_2 衡量数字化水平,具体构建逻辑为:将上一年各行业数字化投入的平均水平作为权重,与当年其他国家数字化投入水平相乘。由于上一年度行业层面的平均数字化投入水平无法表征各国数字经济对行业的渗透效应,故难以作用于“国家—行业”维度的全球价值链嵌入程度与分工形态,进而较难影响全球价值链韧性。此外,数字化投入水平由本国数字化投入和其他国家数字化投入之和加总而来,本部分采用其他国家数字化投入构建的行业数字化发展水平指标,不

会受到本国全球价值链韧性水平的影响。因此，工具变量 IV_2 的选择具有合理性。表 4 列(2)和列(4)结果显示，在以工具变量 IV_2 衡量的数字化为解释变量时，其与环境规制交互项对全球价值链韧性具有积极影响，即降低全球价值链波动性并提升安全水平。

(四) 异质性分析

不同产业参与全球价值链分工的趋势、地位及网络布局存在较大差异，因此，本文考察了产业异质性的影响效果。考虑到农业、采矿业在全球价值链分工体系中的参与程度有限，本文将筛选出制造业和服务业样本进行分析^①，具体结果见表 5 和表 6。表 5 显示了数字化对制造业全球价值链稳定性的影响结果。列(1)至列(4)显示，数字化与环境规制交互项能够显著降低制造业整体、资本密集型和知识密集型制造业的全球价值链波动性，但会加剧劳动密集型制造业的全球价值链波动性。可能的原因是，数字经济背景下劳动密集型制造业全球价值链收缩明显，引起其嵌入全球价值链长度出现剧烈波动。数字化使资本密集型和知识密集型制造业借助互联网平台和智能化实现全球价值链分工扩张，提高其稳定性，体现赋能效应。

表 5 数字化对环境规制影响全球价值链稳定性的异质性检验：制造业

项目	制造业 整体	劳动 密集型	资本 密集型	知识 密集型	制造业 整体	劳动 密集型	资本 密集型	知识 密集型
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	<i>vol_pl</i>	<i>vol_pl</i>	<i>vol_pl</i>	<i>vol_pl</i>	<i>gap_pl</i>	<i>gap_pl</i>	<i>gap_pl</i>	<i>gap_pl</i>
<i>Digi</i>	-0.156 1*** (0.015 3)	0.206 3*** (0.032 6)	-0.107 8*** (0.030 1)	-0.161 8*** (0.021 8)	-1.600 8*** (0.1511)	3.490 1*** (0.298 6)	-3.955 5*** (0.329 1)	-2.111 2*** (0.189 1)
<i>EPI</i>	-0.005 9*** (0.000 8)	0.003 8*** (0.001 0)	-0.007 5*** (0.000 8)	-0.001 3 (0.002 3)	0.029 4*** (0.009 0)	0.017 7 (0.014 1)	0.035 6** (0.015 2)	0.027 6** (0.013 6)
<i>EPI × Digi</i>	-0.001 5*** (0.000 5)	0.003 7*** (0.000 5)	-0.002 6*** (0.000 5)	-0.001 4** (0.000 6)	-0.005 5*** (0.001 7)	0.012 4*** (0.004 1)	-0.013 9*** (0.004 8)	-0.012 1*** (0.001 7)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
行业效应	是	是	是	是	是	是	是	是
年份效应	是	是	是	是	是	是	是	是
国家效应	是	是	是	是	是	是	是	是
样本量	21 894	5 240	7 766	888 8	2189 4	524 0	776 6	888 8
调整 R ²	0.320 6	0.360 7	0.322 0	0.317 0	0.784 4	0.795 0	0.819 1	0.777 1

表 5 列(5)至列(8)显示了数字化对制造业全球价值链安全性的影响结果。列(5)中，环境规制对制造业整体的全球价值链安全性具有负面冲击，但其与数字化的交互项在 1% 的水平上显著为负，说明数字化能够有效缓解环境规制对整体制

①篇幅所限，行业分配表见备索资料。

制造业的不利影响。列(6)至列(8)估计结果显示,数字化与环境规制的交互项对资本密集型和知识密集型制造业全球价值链安全性的影响显著为负,但对劳动密集型行业的影响显著为正,说明在资本和知识密集型这两个细分要素行业,数字化有助于抑制环境规制的负面冲击。可能的原因是,相比贸易强国,其他国家在资本密集型和知识密集型行业嵌入了加工、组装等全球价值链的低技术含量、低附加值等中低端环节,因此污染程度较大,容易受到环境规制成本效应的限制,进而扩大与贸易强国之间全球价值链长度的差距。相反,贸易强国与其他国家在劳动密集型行业全球价值链嵌入过程当中受到环境规制的影响不明显,“数字鸿沟”的存在加剧了发达国家与其他国家劳动密集型行业的全球价值链长度差距。

参考黄蕙萍等(2020)的分类方法,将服务业划分为生产性与非生产性两类,进而检验环境规制与数字化对全球价值链韧性的影响效应,具体估计结果见表 6。从列(1)至列(3)的结果来看,数字化及其与环境规制的交互项对服务业整体和非生产性服务业的波动水平均具有显著的负向抑制效应,但对生产性服务业的影响并不明显。该结果说明数字化发挥赋能作用,有助于提高服务业整体及非生产性服务业全球价值链稳定性。非生产性服务业借助大数据、虚拟现实等数字技术和数字载体实现全球范围内的流通、配置,提高了可贸易性,在数字化与环境规制的交互作用下,非生产性服务业的波动性显著降低。

表 6 数字化对环境规制影响全球价值链韧性的异质性检验：服务业

项目	服务业整体	生产性服务	非生产服务	服务业整体	生产性服务	非生产服务
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>vol_pl</i>	<i>vol_pl</i>	<i>vol_pl</i>	<i>gap_pl</i>	<i>gap_pl</i>	<i>gap_pl</i>
<i>Digi</i>	-0.023 1 *** (0.005 1)	0.004 9 (0.006 7)	-0.054 3 *** (0.007 1)	0.107 2 ** (0.034 5)	0.229 3 *** (0.039 9)	0.073 9 (0.054 7)
<i>EPI</i>	-0.002 2 *** (0.000 4)	-0.003 3 *** (0.000 7)	0.001 8 (0.001 3)	0.051 2 *** (0.002 9)	0.019 8 ** (0.008 3)	-0.012 5 (0.011 7)
<i>EPI × Digi</i>	-0.000 4 *** (0.000 1)	0.000 1 (0.000 1)	-0.000 2 ** (0.000 1)	0.001 4 ** (0.000 5)	-0.000 1 (0.000 6)	0.039 8 *** (0.004 2)
控制变量	是	是	是	是	是	是
行业效应	是	是	是	是	是	是
年份效应	是	是	是	是	是	是
国家效应	是	是	是	是	是	是
样本量	25 636	10 292	15 344	25 636	10 292	15 344
调整 R ²	0.322 7	0.325 1	0.327 4	0.539 4	0.547 5	0.559 2

表 6 列(4)至列(6)显示了环境规制与数字化对全球价值链安全性的影响,说明环境规制和数字化均能够显著加剧服务业整体和生产性服务业全球价值链安全性问题,即扩大本国与优势国之间的全球价值链嵌入长度差距,但对非生产性服务业

并没有显著影响。数字化与环境规制的交互项对服务业整体和非生产性服务业全球价值链安全性具有不利影响,对生产性服务业影响并不显著。该结果意味着数字化对服务业并未体现出赋能效应,可能的原因是贸易强国生产性服务业位于附加值较高的全球价值链环节,技术含量高、污染程度低,其他国家则相反。因此,环境规制的成本效应加剧了生产性服务业全球价值链嵌入长度与贸易强国之间的差距,“数字鸿沟”的存在导致数字化加剧了本国与贸易强国之间的生产性服务业全球价值链长度差距。由于非生产性服务业借助数字技术和互联网平台在各国间流通阻碍较小,因此数字化对其全球价值链长度差距影响不明显。

(五) 作用机制检验

根据理论机制分析,数字化通过技术创新、贸易数字化和服务化以及产业关联四条路径发挥赋能效应。因此,本部分采用非居民专利申请数衡量各国技术创新水平($R\&D$),以信息和通信技术服务出口占比衡量贸易数字化水平(T_Dig),采用商业服务出口占比衡量各国贸易服务化水平(T_Ser)。作用机制检验指标涉及的所有数据均来自2000—2020年世界银行官网公开数据库^①。以前向关联($Forward$)和后向关联($Backward$)指标衡量产业关联程度,数据来自ADB-MIRO数据库,具体计算公式如下所示:

$$Forward_{i,t} = \sum_{i=1}^n b_{i,j,t} / \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{i,j,t} \quad (n=1, 2, 3, 4, \dots, 2925) \quad (7)$$

$$Backward_{j,t} = \sum_{j=1}^n b_{i,j,t} / \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n b_{i,j,t} \quad (n=1, 2, 3, 4, \dots, 2925) \quad (8)$$

式(7)和式(8)中, $b_{i,j,t}$ 为完全消耗系数的*i*行*j*列元素,前向关联效应代表某行业增加一单位最终使用价值带动其他行业价值增加的程度。该值越大,表明该行业对其他行业增加值的带动作用越大。后向关联效应代表各行业增加一单位最终使用价值推动其他行业的需求变化。该值越大,表明该行业对其他行业发展的支撑作用越大。

表7是技术创新和贸易数字化作用机制检验结果。列(1)估计中,数字化与环境规制交互项对技术创新的影响系数显著为正,列(2)同时引入交互项与技术创新,结果显示二者对全球价值链稳定性的影响系数均显著为负。该结果说明:技术创新水平提高能够降低全球价值链波动性;在考虑环境规制政策时,数字化通过技术创新路径提升了全球价值链稳定性。列(3)至列(4)结果显示,数字化投入通过推动贸易数字化转型,降低了全球价值链波动性。假说1得到验证。

表7列(5)估计结果显示,考虑环境规制时,数字化通过提高技术创新水平降低了全球价值链安全性风险。列(6)结果显示,贸易数字化对全球价值链安全性影响系数为1.7313,在1%的水平上显著,说明贸易数字化加剧了全球价值链安全性风险,数字化与环境规制交互项通过提高贸易数字化水平加剧了全球价值链安全性风险。假说3得到验证。

^①资料来源: <https://data.worldbank.org/> (访问日期 2025-5-22)。

表 7 数字化赋能的作用机制检验 I

项目	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>R&D</i>	<i>vol_pl</i>	<i>T_Dig</i>	<i>vol_pl</i>	<i>gap_pl</i>	<i>gap_pl</i>
<i>EPI × Digi</i>	0.005 2 *** (0.002 0)	-0.000 3 *** (0.000 1)	0.002 6 *** (0.000 1)	-0.000 2 ** (0.000 1)	-0.006 4 *** (0.000 7)	-0.006 2 *** (0.000 8)
<i>R&D</i>	—	-0.019 2 *** (0.001 4)	—	—	-0.017 1 ** (0.007 8)	—
<i>T_Dig</i>	—	—	—	-0.025 4 *** (0.003 4)	—	1.731 3 *** (0.099 2)
控制变量	是	是	是	是	是	是
行业效应	是	是	是	是	是	是
年份效应	是	是	是	是	是	是
国家效应	是	是	是	是	是	是
样本量	57 728	57 728	57 728	57 728	57 728	57 728
调整 R ²	0.926 5	0.298 1	0.895 2	0.292 8	0.806 3	0.766 5

表 8 检验了绿色低碳发展背景下数字化赋能的服务化和产业关联路径。列(1)至列(4)机制检验结果显示，数字化提升了产业间前向关联和后向关联，并且前向关联有助于降低全球价值链波动，后向关联则会加剧全球价值链波动。因此，在考虑环境规制影响时，数字化通过前向关联路径有助于提升全球价值链稳定性，但通过后向关联对全球价值链稳定性产生不利影响。列(5)和列(6)结果显示，数字化通过提高服务化水平降低了全球价值链波动。

表 8 数字化赋能的作用机制检验 II

项目	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>Forward</i>	<i>vol_pl</i>	<i>Backward</i>	<i>vol_pl</i>	<i>T_Ser</i>	<i>vol_pl</i>
<i>EPI × Digi</i>	0.156 5 *** (0.004 2)	-0.000 3 *** (0.000 1)	0.006 2 *** (0.000 3)	-0.000 4 *** (0.000 1)	0.015 7 *** (0.003 4)	-0.000 3 *** (0.000 1)
<i>Forward</i>	—	-0.003 2 *** (0.000 9)	—	—	—	—
<i>Backward</i>	—	—	—	0.009 7 *** (0.001 6)	—	—
<i>T_Ser</i>	—	—	—	—	—	-3.210 9 *** (1.055 3)
控制变量	是	是	是	是	是	是
行业效应	是	是	是	是	是	是
年份效应	是	是	是	是	是	是
国家效应	是	是	是	是	是	是
样本量	57 728	57 728	57 728	57 728	57 728	57 728
调整 R ²	0.702 0	0.282 4	0.785 2	0.175 0	0.921 8	0.279 9

综上所述，在绿色低碳发展背景下，数字化与环境规制的交互项通过技术创新、贸易数字化、前向关联和贸易服务化路径提升了全球价值链稳定性，通过后向关联对全球价值链稳定性产生不利影响。假说 2 得到验证。

表 9 检验了绿色低碳发展背景下数字化对全球价值链安全性的产业关联和服务化作用机制。列(1)至列(4)机制检验结果显示，数字化与环境规制交互项会显著增加部门间前向关联和后向关联。前向关联的加强有助于降低全球价值链安全性风险，但后向关联的加强却会加剧全球价值链安全性风险，因此，数字化通过前向关联路径降低环境规制带来的全球价值链安全性风险。列(5)和列(6)结果中，数字化与环境规制的交互效应能够提高服务化水平，但服务化的估计系数为 0.370 7，在 1%的水平上显著，说明其会加剧全球价值链安全性风险。因此，数字化通过服务化路径加剧了环境规则带来的全球价值链安全性风险。假说 4 得到验证。

综上所述，考虑环境规制的影响时，数字化通过技术创新和前向关联路径提高了全球价值链安全性，通过贸易数字化、后向关联和服务化路径加剧了全球价值链安全性风险。

表 9 数字化赋能的作用机制检验Ⅲ

项目	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>Forward</i>	<i>gap_pl</i>	<i>Backward</i>	<i>gap_pl</i>	<i>T_Ser</i>	<i>gap_pl</i>
<i>EPI × Digi</i>	0.156 5 ^{***} (0.004 2)	0.003 2 ^{***} (0.000 9)	0.006 2 ^{***} (0.000 3)	-0.002 9 ^{***} (0.000 7)	0.015 7 ^{***} (0.003 4)	-0.006 0 ^{***} (0.000 7)
<i>Forward</i>	—	-0.060 1 ^{***} (0.005 4)	—	—	—	—
<i>Backward</i>	—	—	—	0.182 0 ^{***} (0.009 7)	—	—
<i>T_Ser</i>	—	—	—	—	—	0.370 7 ^{***} (0.030 1)
控制变量	是	是	是	是	是	是
行业效应	是	是	是	是	是	是
年份效应	是	是	是	是	是	是
国家效应	是	是	是	是	是	是
样本量	57 728	57 728	57 728	57 728	57 728	57 728
调整 R ²	0.702 0	0.808 0	0.785 2	0.818 2	0.921 8	0.771 7

四、研究结论与政策启示

当前经济不确定性增大，全球价值链面临“卡链”“断链”等不稳定、不安全的问题日益严重。同时，环境污染、全球气候变暖等严峻的生态环境问题使得各国环

境规制政策愈加严格,对全球贸易造成不可忽视的影响,那么能否通过数字化抵御环境规制的不利冲击,提升全球价值链韧性?本文利用2000—2022年ADB-MRIO数据库和OECD世界投入产出表数据库涉及的全球65个国家45个行业展开实证分析。研究得到如下结论:数字化水平的提升有助于提高全球价值链韧性并缓解环境规制对全球价值链安全性的负面冲击。作用机制检验表明,在考虑环境规制的影响时,数字化通过技术创新、贸易数字化、前向关联和贸易服务化路径赋能全球价值链稳定性提升,但通过后向关联对全球价值链稳定性产生不利影响;数字化通过技术创新和前向关联路径提高了全球价值链安全性,但通过贸易数字化、后向关联和服务化路径加剧了全球价值链安全性风险。异质性分析表明,考虑环境规制冲击时数字化能够显著降低制造业整体、资本密集型和知识密集型制造业全球价值链的波动性并提高安全性,但会加剧劳动密集型制造业全球价值链波动性和安全性问题。考虑环境规制冲击时,数字化对非生产性服务业的全球价值链具有积极影响,但对生产性服务业的作用效果并不明显。

本文探索了数字化赋能效应及具体作用机制,对各国如何利用数字化转型实现减污降碳并提升全球价值链韧性的双赢目标具有重要意义。根据结论,可以得到如下政策启示:

第一,政府需强化前向关联,以创新驱动价值链掌控力。政府部门可设立全球价值链韧性技术创新专项基金,直接资助企业研发用于提升供应链透明度、可追溯性与智能调度的核心技术。同时,各国需重点打造“链主”企业数字化标杆,对在价值链中承担关键“前向关联”角色的龙头企业,提供研发费用加计扣除等定向税收优惠与补贴,支持其构建开放式的云协同平台。

第二,各国要管控后向关联,防范数字化转型中的外部依赖风险。为了规避企业在数字化进程中过度依赖单一境外供应商,可由政府或国家级行业协会牵头,建设多元化、透明化的战略性资源数字采购公共平台。该平台的核心功能是整合与认证国内外替代供应商信息,利用数字化工具主动分散供应链上游风险。此外,国家通过产业政策,重点培育若干家本土工业互联网平台与关键软件服务商,其战略目标是防止国内产业数据与运营流程被国外云服务与数字化工具锁定,确保核心数字基础设施的自主可控。

第三,实施工业精准施策,分类提升数字化竞争力。针对知识密集型制造业,政府可推出“数字化强链”专项计划,为半导体、新能源汽车、生物医药等重点行业提供定制化转型解决方案,特别资助其运用人工智能加速研发、利用区块链技术管理全球知识产权,以此强化其通过技术前向关联主导价值链的能力。与此同时,对于在线教育、远程医疗、数字文创等非生产性服务业,相关部门需大力简化市场准入审批流程,降低制度性交易成本,积极鼓励这些行业利用数字化平台拓展全球市场,培育新的国际竞争优势。

[参考文献]

- [1] 柏培文, 张云. 数字经济、人口红利下降与中低技能劳动者权益[J]. 经济研究, 2021, 56(5): 91-108.
- [2] 陈雨露. 数字经济与实体经济融合发展的理论探索[J]. 经济研究, 2023(9): 22-30.
- [3] 段玉婉, 蔡龙飞, 陈一文. 全球化背景下中国碳市场的减排和福利效应[J]. 经济研究, 2023, 58(7): 121-138.
- [4] 戴翔, 张雨. 全球价值链重构与中国制造业升级路径研究[J]. 中国工业经济, 2023, 41(2): 56-72.
- [5] 杜直前. 数字全球价值链参与对经济韧性的增强效应研究[J]. 经济学家, 2023(4): 33-43.
- [6] 何青, 琚望静, 庄朋涛. 如何缓解企业投融资期限错配? 基于数字化转型视角[J]. 数量经济技术经济研究, 2024(5): 113-133.
- [7] 黄蕙萍, 缪子菊, 袁野, 等. 生产性服务业的全球价值链及其中国参与度[J]. 管理世界, 2020, 36(9): 82-97.
- [8] 刘斌, 魏倩, 吕越, 等. 制造业服务化与价值链升级[J]. 经济研究, 2016, 51(3): 151-162.
- [9] 刘志彪, 姚志勇, 吴乐珍. 巩固中国在全球产业链重组过程中的分工地位研究[J]. 经济学家, 2020(11): 51-57.
- [10] 李之旭, 彭水军. 全球价值链风险暴露与需求冲击传递——一个统一的分析框架[J]. 经济研究, 2025, 60(1): 39-55.
- [11] 马述忠, 陈逸凡, 张洪胜. 产业数字化与生产全球化——基于附加值地理分布的视角[J]. 管理世界, 2024, 40(11): 1-23.
- [12] 庞瑞芝, 汪青青. 数字化如何缓解服务业结构升级滞后——基于产业内渗透与产业关联视角[J]. 产业经济研究, 2023(6): 57-72.
- [13] 盛斌, 郝夏珍. 制造业数字化能否提升企业全球价值链韧性——基于“稳链强链延链”视角[J]. 财贸经济, 2025, 46(6): 92-108.
- [14] 王博, 徐飘洋. 碳定价、双重金融摩擦与“双支柱”调控[J]. 金融研究, 2021(12): 57-74.
- [15] 王营, 冯佳浩. 绿色债券促进企业绿色创新研究[J]. 金融研究, 2022(6): 171-188.
- [16] 魏龙, 蔡培民, 王磊. 价值链稳定性与制造业企业竞争力提升——基于专业化投入视角[J]. 国际贸易问题, 2022(9): 1-16.
- [17] 杨东. 互联网金融的法律规制——基于信息工具的视角[J]. 中国社会科学, 2015(4): 107-126.
- [18] 杨仁发, 郑媛媛. 数字经济发展对全球价值链分工演进及韧性影响研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2023, 40(8): 69-89.
- [19] 杨汝岱, 李艳, 孟珊珊. 企业数字化发展、全要素生产率与产业链溢出效应[J]. 经济研究, 2023, 58(11): 44-61.
- [20] 姚曦, 张丽. 数字化转型对企业绩效的影响研究: 基于中国制造业的实证分析[J]. 管理世界, 2020, 36(5): 88-102.
- [21] 余典范, 蒋耀辉, 张昭文. 中国碳排放权交易试点政策的创新溢出效应——基于生产网络的视角[J]. 数量经济技术经济研究, 2023, 40(3): 28-49.
- [22] 张鹏杨, 肖音, 刘会政, 等. 数字化转型对供应链上下游产出波动的非对称影响研究[J]. 世界经济, 2024(7): 123-152.
- [23] 甄珍, 王凤彬. 逆境事件冲击下全球价值链系统韧性的动态演化——基于嵌入性多案例的纵向研究[J]. 中国工业经济, 2022(10): 174-192.
- [24] ANAND K S, GIRAUD-CARRIER F C. Pollution Regulation of Competitive Markets[J]. Management Science, 2020, 66(9): 4193-4206.

- [25] ANENBERG E, KUNG E. Information Technology and Product Variety in the City: The Case of Food Trucks[J]. *Journal of Urban Economics*, 2015, 90: 60–78.
- [26] APPIO F P, FRATTINI F, PETRUZZELLI A M, et al. Digital Transformation and Innovation Management: A Synthesis of Existing Research and an Agenda for Future Studies[J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2021, 38(1): 4–20.
- [27] AZAR G, CIABUSCHI F. Organizational Innovation, Technological Innovation, and Export Performance: The Effects of Innovation Radicalness and Extensiveness[J]. *International Business Review*, 2017, 26(2): 324–336.
- [28] BAQAEI D R, FARHI E. Productivity and Misallocation in General Equilibrium[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 2020, 135(1): 105–163.
- [29] BARRETT S. *Environment and Statecraft: The Strategy of Environmental Treaty-making*[M]. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- [30] BONADIO B, HUO Z, LEVCHENKO A A, et al. Global Supply Chains in the Pandemic[J]. *Journal of International Economics*, 2021, 133: 103534.
- [31] CALVINO F, CRISCUOLO C, MARCOLIN L, et al. A Taxonomy of Digital Intensive Sectors[R]. OECD Science, Technology and Industry Working Paper, 2018, No. 2018(14).
- [32] CHEN S, ZHAO Y, HUANG W F, et al. Carbon Leakage Perspective: Unveiling Policy Dilemmas in Emission Trading and Carbon Tariffs under Insurer Green Finance[J]. *Energy Economics*, 2024, 130: 107292.
- [33] GUO X, LI M, WANG Y, et al. Does Digital Transformation Improve the Firm's Performance? From the Perspective of Digitalization Paradox and Managerial Myopia[J]. *Journal of Business Research*, 2023, 163: 113868.
- [34] HOHENSTEIN N O, FEISEL E, HARTMANN E, et al. Research on the Phenomenon of Supply Chain Resilience: A Systematic Review and Paths for Further Investigation[J]. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2015, 45(1/2): 90–117.
- [35] JAFFE A B, PETERSON S R, PORTNEY P R, et al. Environmental Regulation and the Competitiveness of US Manufacturing: What does the Evidence Tell Us[J]. *Journal of Economic Literature*, 1995, 33(1): 132–163.
- [36] JOHN K, LITOV L, YEUNG B. Corporate Governance and Risk-taking[J]. *The Journal of Finance*, 2008, 63(4): 1679–1728.
- [37] KHALILABADI S M G, ZEGORDI S H, NIKBAKHS E. A Multi-stage Stochastic Programming Approach for Supply Chain Risk Mitigation via Product Substitution[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2020, 149: 106786.
- [38] PORTER M E, LINDE C. Toward a New Conception of the Environment–Competitiveness Relationship[J]. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, 9(4): 97–118.
- [39] SHAPIRO J S, WALKER R. Why is Pollution from US Manufacturing Declining? The Roles of Environmental Regulation, Productivity, and Trade[J]. *American Economic Review*, 2018, 108(12): 3814–3854.
- [40] STIGLITZ J E. Information and the Change in the Paradigm in Economics[J]. *American Economic Review*, 2002, 92(3): 460–501.
- [41] STONEMAN P, IRELAND N J. The Role of Supply Factors in the Diffusion of New Process Technology[J]. *Economic Journal*, 1983, 93(369a): 66–78.
- [42] STOVERINK A C, KIRKMAN B L, MISTRY S, et al. Bouncing back together: Toward a Theoretical Model of Work Team Resilience[J]. *Academy of Management Review*, 2020, 45(2): 395–422.
- [43] UM J, HAN N. Understanding the Relationships between Global Supply Chain Risk and Supply Chain Resilience: The Role of Mitigating Strategies[J]. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2021, 26(2): 240–255.
- [44] YU Y, ZHANG N. Environmental Regulation and Innovation: Evidence from China[J]. *Global Environmental Change*, 2022, 76: 102587.
- [45] ZHANG F, YIN X, ZHANG H, et al. Does Environmental Regulation Enhance Servitization in Aspirant Markets? Evidence from China's Manufacturing Sector[J]. *Technovation*, 2024, 131: 102952.

Digitalization Empowers the Resilience of Global Value Chains under the Background of Green Development

YANG Ye^{1,2}, XIE Jianguo^{2,3}, ZOU Shaohui¹

(1. School of Management, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, Shanxin, 710054;

2. Yangtze River Delta Economic and Social Development Research Center, Nanjing University,
Nanjing, Jiangsu, 210093;

3. Business School of Nanjing University, Nanjing, Jiangsu, 210093)

Abstract: Multiple uncertainties, such as anti-globalization sentiments, trade frictions, and the transition to a green low-carbon economy, contribute to security risks within global value chains. Concurrently, the digital economy has transformed the integration of global supply and demand chains, emerging as a crucial mechanism for enhancing the resilience of these value chains. Utilizing input-output data from various industries worldwide, spanning from 2000 to 2022 in the ADB-MIRO database, this paper calculated the resilience and digitization levels of global value chains. It further investigated the impact of digitization on the resilience of global value chains, particularly in the context of environmental regulation. The findings indicate that, when accounting for the effects of environmental regulation, higher levels of digitization positively influence the security and stability of global value chains. This conclusion underscores that, in response to external shocks posed by environmental regulations, digitization serves to mitigate adverse effects and bolster the resilience of global value chains. Mechanism tests conducted in this study reveal that, while considering the role of environmental regulation, digitization primarily enhances the stability of global value chains through pathways such as technological innovation, trade digitization, forward linkages, and trade servitization. Conversely, it exerts a negative impact on stability via backward linkages. Specifically, digitization improves the security of global value chains through forward linkages and technological innovation, while simultaneously exacerbating security risks through trade digitization, backward linkages, and servitization pathways. This research provides a theoretical foundation and policy insights for enhancing the resilience of global value chains from the dual perspectives of environmental regulation and digital transformation.

Keywords: Green Low-carbon Transformation; Environmental Regulation; Digitalization; Global Value Chain; Resilience

(责任编辑 祝子白 刘建昌)