黄河流域数字经济对产业链韧性的影响研究

高建刚，蔡元涛，徐　凯

（聊城大学 商学院，山东 聊城 252000）

摘　要：提升黄河流域的产业链韧性不仅是维护黄河流域经济稳健循环的根本，也是实现区域经济社会长期稳定高质量发展的迫切需求。本研究基于 2011—2022 年黄河流域 76 个地级市的面板数据，考察黄河流域数字经济影响产业链韧性水平的效果、作用机制、异质性表现及非线性影响关系。研究结果表明：黄河流域数字经济显著促进了产业链韧性水平，并且，这种影响随着城市对外开放水平的提升存在倒“U”型的非线性影响特征；黄河流域数字经济对产业链韧性的影响具有非对称性，中下游区域等经济发展水平、数字基础设施和平台发展较为先进的地区数字经济对产业链韧性的促进作用更明显；机制检验表明，数字经济可以通过促进科技创新和劳动力就业规模扩大两条路径间接影响产业链韧性水平，并且产业结构的转型升级还正向调节数字经济对产业链韧性的促进作用。

关键词：数字经济；产业链韧性；科技创新；劳动力就业规模；门槛效应

中图分类号：F427　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1672-1217（2025）04-0056-14

收稿日期：2025-03-25

基金项目：国家社会科学基金项目（20BJY074）：黄河流域“水—能源—粮食”纽带系统与生态系统协同安全的机制与路径研究。

作者简介：高建刚（1975-），男，山东聊城人，聊城大学商学院教授，经济学博士；
蔡元涛（2001-），男，山东临沂人，聊城大学商学院硕士研究生；
徐　凯（2001-），女，山东临沂人，聊城大学商学院硕士研究生。

DOI:10.16284/j.cnki.cn37-1401/c.2025.04.016

随着“黄河国家战略”的深入实施，黄河流域高质量发展已上升为国家重大战略。作为我国重要的生态屏障和经济走廊，该区域在构建新发展格局中承担着关键使命。然而，流域内传统产业比重较高、区域发展梯度差异显著、生态环境约束趋紧等现实问题，使得产业链面临市场需求波动、要素供给不稳、外部冲击加剧等多重风险挑战。特别是在全球产业链重构和国内经济转型的双重压力下，如何提升产业链韧性已成为黄河流域实现高质量发展的核心命题。数字技术能够纵向延伸产业链深度与横向拓展产业关联度，构建起多层级替代节点和网络化协同体系，显著增强产业链应对外部冲击的冗余能力和自适应调节能力。因此，本研究基于黄河流域 2011—2022 年 76 个地级市的面板数据，探究数字经济对产业链韧性的影响，并选取科技创新水平以及劳动力就业规模作为中介变量，产业结构升级水平作为调节变量探究数字经济在促进产业链韧性提升中的作用机制，以期为黄河流域产业链韧性提升提供参考。

一、文献综述

产业链韧性是指产业链在应对外部冲击时所展现的抵御能力、恢复能力与适应能力的有机统一（Ma et al，2023；谷城和张树山，2023）①②。在全球经济不确定性加剧背景下，提升产业链韧性已成为保障经济高质量发展与生态保护的双重战略需求。现有研究揭示，产业链韧性通过增强风险抵御与灾后恢复能力，

①Li Ma，Xiumin Li and Yu Pan：“Global Industrial Chain Resilience Research：Theory and Measurement”，*Systems*，Vol. 11，No. 9，2023，p. 466.

②谷城、张树山：《数字经济发展与产业链韧性提升》，《商业研究》2023 年第 5 期。

可有效促进产业结构优化升级（苏耀华等，2024；Atadoga et al，2024）[①②]，其与绿色发展的协同效应尤为显著——既能推动企业低碳化运营与消费者绿色行为（Kumaretal，2024）[③]，又可促进全产业链绿色转型（毛蕴诗等，2020）[④]。聚焦黄河流域这一典型区域，当前产业链面临结构性困境：传统产业占比高达63%，同质化竞争导致“倚重倚能”特征突出，表现为产业链条短、附加值低、资源消耗强度大等现实问题，亟需通过韧性提升实现突破。

在数字经济时代，新要素、新模式、新产业和新业态为产业链的韧性提供了新动力（张莉等，2024）[⑤]，同时国内外众多文献也考察了数字经济、产业链韧性对促进高质量发展的影响机制和效果。一方面，数字经济已经成为黄河流域高质量发展的新趋势（李治国等，2023）[⑥]，数字技术的赋能不仅提升了黄河流域的全要素生产率，推动了区域协调发展，还通过优化资源配置和提高要素配置效率，进一步促进了黄河流域的经济高质量发展。另一方面，大数据的乘数效应能够激发产业链各环节的潜能，提升其风险应对能力（张峰等，2024）[⑦]，而数字技术的快速发展则为产业链的升级和现代化产业体系的建设提供了新的技术路径（Song Yicheng and Yuantao Jiang，2024）[⑧]。此外，数字经济对产业链韧性的影响与黄河重大国家战略的落实紧密相关。数字经济能为实现高质量发展提供技术支持和创新动力，通过高效的资源配置和创新能力，大幅提升资源利用效率，提升资源环境管理水平，保障流域的可持续发展。同时，数字经济有助于推动黄河流域内不同地区的协调发展，缓解区域发展不平衡问题，促进经济一体化进程，为国家战略的全面实施创造条件。因此，探讨数字经济如何提升黄河流域产业链的韧性，不仅有助于探索黄河流域实现产业结构优化和产业升级的具体路径（王军和车帅，2022）[⑨]，增强产业链的竞争力和韧性，还能为黄河流域经济实现高质量发展、推动经济提质增效提供政策指导，这对于黄河流域实现经济的稳定增长和可持续发展具有重要意义。

以上研究为我们提供了丰富的视角，但在黄河流域数字经济对产业链韧性的影响方面仍存在不足。首先，现有研究多集中在宏观省际层面，对地级市层面的深入分析较少。其次，黄河流域数字经济赋能产业链韧性提升的机制与路径研究还不全面，需要进一步深入。最后，黄河流域数字经济对产业链韧性的非线性影响（门槛效应）的研究较少，需要进一步探索和拓展。本研究的边际贡献主要体现在以下三方面：第一，使用地级市层面的数据，探讨黄河流域的数字经济对产业链韧性的影响；第二，通过将黄河流域分为上中下游三大区域，深入探讨数字经济对产业链韧性的区域异质性影响；第三，运用面板门槛模型测度数字经济对产业链韧性的非线性影响。

---

①苏耀华、赵鹏睿、柳江：《黄河流域数字经济与制造业高质量发展耦合协调及其障碍因子》，《中国沙漠》2024年第6期。

②Akoh Atadoga，Femi Osasona，Olukunle Oladipupo Amoo，Oluwatoyin Ajoke Farayola，Benjamin Samson Ayinla and Temitayo Oluwaseun Abrahams：“The role of IT in enhancing supply chain resilience：a global review”，*International Journal of Management & Entrepreneurship Research*，Vol.6，No.2，2024，pp.336-351.

③Mukesh Kumar，Rakesh D. Raut，Sachin Kumar Mangla，Soumyadeb Chowdhury，and Vikas Kumar Choubey：“Moderating ESG compliance between industry 4.0 and green practices with green servitization：Examining its impact on green supply chain performance”，*Technovation*，Vol.6，No.2，2024，pp.336-351.

④毛蕴诗、黄宇元、付宏：《绿色全产业链的分析模型与经验研究》，《武汉大学学报(哲学社会科学版)》2020年第6期。

⑤张莉、陈凯、李汉君：《数字经济赋能制造业产业链韧性：多维机制与空间溢出》，《江西财经大学学报》2025年1期。

⑥李治国、霍冉、周行：《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》，《河南师范大学学报(自然科学版)》2023年第2期。

⑦张峰、魏巍、陈嘉伟、宋胜磊：《区域创新生态系统能否提高产业链韧性：来自黄河流域的时空非平稳性检验》，《科技进步与对策》2024年第16期。

⑧Yicheng Song，Yuantao Jiang：“How Does the Digital Economy Drive the Optimization and Upgrading of Industrial Structure? The Mediating Effect of Innovation and the Role of Economic Resilience”，*Sustainability*，Vol.16，No.4，2024，p.1352.

⑨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》，《资源科学》2022年第4期。

二、理论分析与研究假设

数字经济作为21世纪全球经济的重要驱动力，正在深刻地改变着传统产业链的格局。在探讨黄河流域数字经济对产业链韧性的影响时，不少学者已进行了深入研究。

（一）数字经济对产业链韧性的直接效应分析

1.数字经济通过推动数字技术与产业链的深度融合，能够增强产业链的抗冲击能力。

通过数字平台，企业可以更加灵活地调整生产和销售策略，提高对外部市场变化的适应能力，从而增强产业链的抵抗力。数字经济的迅猛发展能够显著提升产业链上下游供需匹配的精确度、增强产业稳定性以及促进产业供应质量的优化，从而有效地增强产业链供应链的韧性（袁瀚坤等，2024）①。

2.数字经济能够促进产业链的快速恢复。

在突发事件或危机面前，数字化手段对企业具有重要意义。产业数字化可以帮助企业快速调整生产计划，优化供应链管理，减少损失，并加速恢复生产。此外，数字化转型能够为产业链和供应链的主体与结构要素注入新的活力，有效提升其恢复能力。

3.新业态的出现推动了企业的数字化转型。

“互联网＋”制造和“人工智能＋”制造，推动了企业数字化转型的进程，数字经济通过优化供需关系、推动短板产业补链和提升产业链关键环节竞争力，数字经济从“稳链”“补链”和“强链”三个维度提升了产业链的稳定性，同时提供了以需求为导向的生产供给，增强了产业链的现代化水平（董丽和赵放，2023）②。因此，数字经济不仅提升了产业链的抵御风险能力和恢复能力，还为产业链的高质量发展注入了新的动力，基于此，提出研究假设1。

H1：黄河流域数字经济发展能够提升该地区产业链韧性水平。

（二）黄河流域数字经济对产业链韧性水平的间接效应分析

1.数字经济通过促进科技创新，为黄河流域的产业链带来了新的增长点。

科技创新在数字经济与产业链韧性之间的桥梁作用不容忽视。数字技术为科技创新提供了数据支持和计算能力，加速了科技成果的转化，提升了产业链的技术水平和创新能力。数字经济的发展有助于推动产业技术创新能力达到国际先进水平，实现关键环节核心技术的自主可控，降低对外技术依赖度。这不仅提升了供应链的韧性和安全水平，还促进了产业链的现代化（张超和毛艳华，2024）③。科技创新引入了大数据、人工智能、物联网、云计算等数字技术，这些技术提高了产业链的运行效率，并增强了其适应性和恢复力。企业通过大数据和人工智能优化资源配置，提高决策效率，从而增强了产业链的抗风险能力。科技创新还通过推进原始创新、关键核心技术的研发、加强产业链与创新链的融合、培育创新型企业集群以及提升创新体系效能，为地区产业链韧性的提升提供了坚实的支撑。

2.数字经济对劳动力就业规模的影响同样不容忽视。

数字经济的兴起催生了新的就业形态和职业类别，包括数字内容创作、电子商务和在线服务等，为劳动力市场注入了活力。此外，数字经济通过提高劳动力的技能和就业质量，促进了就业规模的扩大。劳动力资源是产业链面对冲击时能够快速恢复的重要保障（曹建飞和谭扬天，2024）④，数字技能的提升，使得劳动者能够更好地适应数字经济时代的工作需求，增强了就业的稳定性和持续性，保障了产业链的稳定运行。科技创新增强了产业链的技术实力和创新能力，而劳动力就业规模的扩大则为产业链提供了稳定的人

---

①袁瀚坤、彭刚东、韩民春：《数字经济发展对产业链供应链韧性的影响研究》，《江南大学学报（人文社会科学版）》2024年第3期。

②董丽、赵放：《数字经济驱动制造业产业链韧性提升的作用机理与实现路径》，《福建师范大学学报（哲学社会科学版）》2023年第5期。

③张超、毛艳华：《数字产业化能否增强城市产业链韧性？》，《现代经济探讨》2024年第6期。

④曹建飞、谭扬天：《数字经济对产业链韧性的影响研究》，《商学研究》2024年第3期。

力资源支持，这两种因素的持续发展，增强了产业链的稳定性和抗风险能力。基于此，提出研究假设 2。

H2：黄河流域科技创新和劳动力就业规模的发展间接促进了产业链韧性水平发展。

（三）产业结构升级对产业链韧性的调节作用

产业结构升级有助于解决产业基础能力薄弱导致产业链不完整的问题，提升产业链的完整性和稳定性。产业结构升级可以强化产业链的关键环节，提高产业链的自主可控能力，从而增强产业链的韧性（陈晓东等，2022）①。产业结构升级还强调关键核心技术的自主研发和创新，减少对外部技术的依赖。这提升了产业链的自主可控能力，同时确保了在外部环境变化或国际政治经济形势波动时，产业链能够维持有效运转。并且依托数字经济，产业链的数字化升级能够打通产业链上的堵点和断点，为补链、延链等工作提供基础，促进产业链韧性的提升。基于此，提出研究假设 3。

H3：黄河流域产业结构升级在数字经济发展提升产业链韧性水平过程中起到正向的调节作用。

（四）城市对外开放水平对数字经济对产业链韧性影响的非线性影响

数字经济显著提升了供需匹配的精确度、增强了稳定性以及优化了供应质量，从而有效增强了产业链供应链的韧性。数字经济对产业链韧性的影响具有非对称性，根据资源诅咒理论，当对外开放程度较低时，国际技术溢出与市场扩展产生正向激励，在数字经济发展的初期阶段其与国际资源协同对产业链韧性的促进作用较为显著，且随着数字经济水平的提升存在边际效应递增特征。然而，当对外开放水平达到一定程度后，其对产业链韧性的促进作用可能会有所减弱。具体到黄河流域，当对外开放水平超过某一阈值时，虽然数字经济仍然能够提升产业链韧性，但其效果可能不如在较低对外开放水平时显著（盛三化等，2023）②，超过临界值后，黄河流域特有的要素禀赋约束（劳动力技能错配、本地配套产业薄弱）导致过度依赖外部市场，形成“低端锁定”路径依赖。基于以上理论，提出研究假设 4。

H4：黄河流域城市对外开放水平在特定阶段能够提升产业链韧性水平，但是在超过特定阶段后会抑制产业链韧性的发展。

（五）数字经济对黄河流域城市产业链韧性影响的区域异质性

在黄河流域，经济较发达地区通常具备更完善的数字基础设施、更高素质的人才和更充足的资金，这些因素共同促进了数字经济的发展，并增强了产业链的韧性。现阶段，东部地区数字经济发达，西部地区数字经济欠发达，这种差异导致了产业链韧性在区域间的差异。数字技术的快速发展，特别是其在加快信息传输、压缩时空距离以及增强经济活动关联性方面的特性，为产业链韧性的提升提供了新的动能。然而，不同规模和地理位置的城市在数字产业化对产业链韧性的影响上存在显著差异。大城市由于拥有丰富的数据资源、广阔的市场空间和多样化的应用场景，其数字产业化在研发创新和应用能力上更为强大，从而对产业链韧性的增强作用更为显著。相比之下，小城市由于财政资金和数字研发能力的局限，更多地聚焦于数字化应用层面，其对产业链韧性的贡献相对较小。此外，沿海城市得益于人才、资金和技术等数字经济要素资源的丰富，以及更容易融入国际市场的优势，数字产业化在推动产业链韧性方面的效果更为明显。而内陆城市则因资源相对匮乏、市场闭塞和数字研发能力较弱，加之主导产业的传统性和单一性，新兴数字产业的发展相对滞后，这些因素共同导致了内陆城市数字产业化对产业链韧性的促进作用不如沿海城市明显。这些差异反映了黄河流域内不同城市在数字经济发展上的不均衡性，以及这种不均衡性对产业链韧性影响的区域异质性。基于此，提出研究假设 5。

H5：数字经济对黄河流域城市产业链韧性影响具有区域异质性。

三、变量选取及研究设计

（一）研究区域界定

①陈晓东、刘洋、周柯：《数字经济提升我国产业链韧性的路径研究》，《经济体制改革》2022 年第 1 期。

②盛三化、董港、田惠敏、王磊：《数字经济、产业链韧性与长江经济带制造业高质量发展》，《区域经济评论》2023 年第 4 期。

黄河流域流经的省份涵盖了山东、河南、山西、陕西、内蒙古、宁夏、甘肃、四川以及青海九省(自治区)。考虑到黄河流仅经四川省的阿坝藏族羌族自治州和甘孜藏族自治州，范围有限，本项研究并未将四川省纳入其研究范围。因此，本研究选取了山东、河南、山西、陕西、内蒙古、宁夏、甘肃和青海这八个省(自治区)中的76个地级市作为研究对象。同时，考虑到区域异质性分析，本研究依据有关文献，将黄河流域76个地级市划分为上、中、下游，划分结果如表1所示。

表1　黄河流域地区各流域地级市划分

区域	地级市
上游(22个)	呼和浩特市、包头市、乌海市、赤峰市、通辽市、鄂尔多斯市、呼伦贝尔市、巴彦淖尔市、乌兰察布市、兰州市、嘉峪关市、金昌市、白银市、武威市、张掖市、酒泉市、定西市、西宁市、银川市、石嘴山市、吴忠市、固原市
中游(25个)	太原市、大同市、阳泉市、长治市、晋城市、朔州市、晋中市、运城市、忻州市、临汾市、吕梁市、洛阳市、焦作市、三门峡市、南阳市、西安市、铜川市、宝鸡市、咸阳市、渭南市、延安市、榆林市、天水市、平凉市、庆阳市
下游(29个)	济南市、青岛市、淄博市、枣庄市、东营市、烟台市、潍坊市、济宁市、泰安市、威海市、日照市、临沂市、德州市、聊城市、滨州市、菏泽市、郑州市、开封市、平顶山市、安阳市、鹤壁市、新乡市、濮阳市、许昌市、漯河市、商丘市、信阳市、周口市、驻马店市

(二)模型设定

为研究黄河流域数字经济对产业链韧性水平的影响，构建如下面板固定效应模型进行分析：

$$ICR_{it}=\alpha_0+\alpha_1 DIG_{it}+\alpha_2 Controls_{it}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{it} \tag{1}$$

上式中，i、t分别代表地级市与年份，ICR_{it}表示第t年i地级市的产业链韧性水平；DIG_{it}表示第t年i地级市的数字经济水平；$Controls_{it}$代表影响产业链韧性的一系列控制变量，μ_i为个体固定效应，δ_t为时间固定效应，ε_{it}表示随机误差项。本研究重点关注核心解释变量DIG的系数估计值α_1，若α_1为正，表明数字经济能够提升产业链韧性水平。

为验证数字经济通过推进科技创新和扩大劳动力就业规模对产业链韧性提升存在的作用机制，参考曹建飞和谭扬天(2024)[①]的方法，在模型(1)的基础上进一步构建中介效应模型和调节效应模型：

$$Mediator_{it}=\beta_0+\beta_1 DIG_{it}+\beta_2 Controls_{it}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{it} \tag{2}$$

$$ICR_{it}=\beta_0+\beta_1 DIG_{it}+\beta_2 Mediator_{it}+\beta_3 Controls_{it}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{it} \tag{3}$$

$$ICR_{it}=\beta_0+c_0 High\text{-}te_{it}+c_1 DIG_{it}*\text{High-te}_{it}+\beta_1\text{DIG}_{it}+\beta_2\text{Controls}_{it}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{it} \tag{4}$$

上述式子中：式(2)和式(3)为中介效应模型，$Mediator_{it}$为中介变量，β_0为截距项，β_1为数字经济回归系数，β_2为中介变量回归系数，在式(3)中，β_3为控制变量回归系数。式(4)为调节效应模型，其中$High\text{-}te_{it}$为产业结构高级化指数，相应的系数用c_0表示，数字经济与调节变量交互项为$DIG_{it}*High\text{-}te_{it}$，系数用$c_1$表示。

为进一步探讨黄河流域数字经济对产业链韧性是否存在非线性影响和门槛效应，检验假设4，本研究采用Hansen和Wang的门槛回归模型。如果只存在一个门槛，则使用如式(5)所示的单门槛模型：

$$ICR_{it}=\beta_0+\beta_1 FDI_{it}I(FDI_{it}>q)+\beta_2 Controls_{it}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{it} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}ICR_{it}=&\beta_0+\beta_1 FDI_{it}I(FDI_{it}\leqslant q_1)+\beta_2 FDI_{it}I(q_1<FDI_{it}\leqslant q_2)+\beta_3 FDI_{it}I(FDI_{it}>q_3)+\\&\beta_2 Controls_{it}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{it}\end{aligned} \tag{6}$$

其中，FDI_{it}表示门槛变量城市对外开放水平；q为门槛值；在一重门槛模型式(5)中β_1为$FDI_{it}\leqslant$q时数字经济对产业链韧性的影响系数；β_2为$FDI_{it}>q$时数字经济对产业链韧性的影响系数，当$\beta_0\neq\beta_1$时，说明存在门槛效应，否则不存在门槛效应。

如果存在两个门槛，模型应扩展成为如式(6)所示的双门槛模型：

其中，q_1、q_2为两个门槛值，且$q_1<q_2$，这两个门槛值将总样本划分为三个区间，β_1、β_2、β_3分别为这三个不同的区间数字经济对产业链韧性的影响系数。若存在三个及以上门槛时，借鉴此方法建立多门槛模型。

① 曹建飞、谭扬天：《数字经济对产业链韧性的影响研究》，《商学研究》2024年第3期。

（三）变量说明

1.黄河流域产业链韧性指标体系

本研究被解释变量为产业链韧性水平，用ICR（Industry Chain Resilience）表示。考虑到黄河流域产业链的相关特征，从数据的准确性、连续性以及可得性角度出发思考，以产业链基础、抵抗性、开放性、创新性和可持续性为一级指标构建产业链韧性水平评价指标体系（谷城和张树山，2023；余东华和黄念，2024）①，参见表2。

表2　产业链韧性水平评价体系

一级指标	二级指标	属性	权重
产业链基础	货运总量(万吨)	正	0.052
	境内公路总里程(公里)	正	0.035
	铁路旅客运量(万人)	正	0.137
	公路客运量(万人)	正	0.076
抵抗性	移动电话普及率	正	0.051
	GDP增长率	正	0.006
	教育支出(万元)	正	0.050
	产业结构合理化	负	0.015
	产业结构高级化	正	0.043
开放性	外商投资企业数(个)	负	0.002
	货物进口额(万元)	负	0.002
	外贸依存度	负	0.001
创新性	R&D人员(人)	正	0.150
	国内专利申请授权数	正	0.167
可持续性	一般工业固体废物综合利用率(%)	正	0.022
	第三产业增加值GDP占比	正	0.020
	内资企业个数（个）占比	正	0.004
	万人专利授权数	正	0.167

2.黄河流域数字经济发展水平评价体系

核心解释变量为数字经济发展水平，用DIG（Digital Economy Index）表示，根据秦小雯和易莹莹(2023)②的研究，本研究基于互联网发展水平和数字普惠金融发展水平2个维度选取5个指标进行黄河流域城市数字经济水平的测度，指标体系如表3所示。

表3 黄河流域数字经济发展水平评价体系

一级指标	二级指标	三级指标	属性	权重
互联网发展水平	相关产业产出	电信业务总量（万元）	正	0.239
	从业人员规模	信息传输计算机服务和软件业（万元）	正	0.416
	互联网用户规模	互联网宽带接入用户数（万户）	正	0.174
	移动电话用户规模	移动电话用户数（万人）	正	0.123
数字普惠金融水平	数字普惠金融发展水平	北大普惠金融指数	正	0.048

3.中介变量和调节变量

①谷城、张树山：《数字经济发展与产业链韧性提升》，《商业研究》2023年第5期；余东华、黄念：《数字化转型能够提升产业链韧性吗?》，《经济与管理研究》2024年第8期。

②秦小雯、易莹莹：《数字经济对黄河流域经济高质量发展的影响及空间溢出效应研究》，《工程经济》2023年第6期。

掌握基础材料、核心元器件、关键设备和工业软件等关键技术，可以显著提高产业链的自主性和可控性。这些“卡脖子”技术的掌握，使得产业链在面对外部风险时，能够更加迅速地调整和适应，减少对外部不确定性的依赖，从而提升产业链的整体韧性。本研究选取黄河流域地级市 R&D 经费支出与科学支出熵权得到黄河流域科技创新水平（Ino）水平作为中介变量。

借鉴张超和毛艳华（2024）[①]、曹建飞和谭扬天（2024）[②]的研究，选取城镇单位就业人数的对数作为替代变量衡量黄河流域劳动力就业规模（Labor）水平，作为本研究的第二个中介变量。

产业结构升级通过强化产业链的关键环节，提升产业基础能力，从而解决了产业基础薄弱和产业链不完整的问题，增强了产业链的完整性和稳定性。借鉴张超和毛艳华（2024）[③]的研究，选取科研人员占从业人员比重作为替代变量衡量黄河流域产业结构高级化（High_te）水平。

4. 控制变量

为了更加准确地描述数字经济和产业链韧性之间的关系，根据谷城和张树山（2023）[④]的研究，选取城市对外开放水平（FDI）、经济发展水平（EDL）、城市化水平（UBL）、产业结构（INS）、文化教育水平（CEL）作为控制变量。城市对外开放水平（FDI）使用当年实际使用外资金额占地区生产总值比重衡量，经济发展水平（EDL）使用人均 GDP 衡量，城市化水平（UBL）使用地区人口密度衡量，产业结构（INS）使用第二产业和第三产业增加值之和占地区生产总值比重衡量，文化教育水平（CEL）用每百人公共图书馆藏书量衡量。

（四）数据来源与说明

本研究研究数据主要源自国家统计局、《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》、《中国第三产业统计年鉴》、黄河流域各地级市的统计年鉴以及《中国城市统计年鉴》，数据覆盖的时间范围为 2011 年至 2022 年。地区为黄河流域 76 个地级市，部分缺失数据采用增长率法在原始数据的基础上计算填补，然后再进行计算。

四、实证结果检验

（一）基准回归结果

本研究采用固定效应模型来评估黄河流域数字经济对产业链韧性的影响，结果详见表 4。根据回归结果，第（1）列展示了未包含控制变量的普通最小二乘（OLS）回归结果；第（2）列在加入控制变量后，数字经济（DIG）对产业链韧性（ICR）的正向影响依然显著；第（3）列在考虑个体和时间固定效应后，数字经济（DIG）对城市群经济韧性（ICR）的提升作用为 0.511，且在 1%的显著性水平下显著。总体而言，数字经济对产业链韧性具有正向影响，这与张超和毛艳华（2024）[⑤]的结论一致。数字经济与实体经济的融合是产业重构与创新的关键，也是推动产业高质量发展的核心动力。通过数字技术和数据要素对实体经济进行基础性变革，可以创造新的数字运营生态，催生新产业、新业态和新模式，进而增强产业链的抗冲击能力和恢复力。因此，黄河流域的数字经济发展对产业链韧性的提升具有积极作用，假设 1 得到验证。

表 4　基准回归结果

	(1)	(2)	(3)
变量	ICR	ICR	ICR
DIG	0.94＊＊＊	0.87＊＊＊	0.51＊＊＊
	(24.82)	(21.97)	(6.83)
FDI		0.16＊	−0.07

①③⑤张超、毛艳华：《数字产业化能否增强城市产业链韧性?》，《现代经济探讨》2024 年第 6 期。

②曹建飞、谭扬天：《数字经济对产业链韧性的影响研究》，《商学研究》2024 年第 3 期。

④谷城、张树山：《数字经济发展与产业链韧性提升》，《商业研究》2023 年第 5 期。

		(1.82)	(−0.76)
EDL		0.01＊＊＊	−0.01
		(3.18)	(−1.11)
UBL		0.01＊＊＊	−0.01
		(5.07)	(−0.33)
INS		−0.10＊＊＊	0.00
		(−4.62)	(0.10)
CEL		0.01＊＊＊	0.00＊
		(4.57)	(1.86)
常数项	0.05＊＊＊	−0.05＊	0.18
	(0.00)	(0.03)	(0.13)
控制变量	NO	YES	YES
时间固定	NO	NO	YES
个体固定	NO	NO	YES
N	912	912	912
R^2	0.83	0.84	0.96

注：＊＊＊、＊＊、＊分别表示在1%、5%和10%水平显著；括号内为城市层面的聚类稳健标准误。

（二）稳健性检验

为保证估计结果的稳健性，本研究基于彭伟辉和雷秋丽（2024）[①]与曹晔（2024）[②]的研究，采用数字经济发展水平的滞后一期、数字经济发展水平进行首尾各1%水平的缩尾以及剔除遭受疫情的2020、2021与2022年数据进行稳健性检验，结果如表5所示。表5第（1）列为数字经济发展水平的滞后一期（LDIG）对产业链韧性的回归结果，第（2）列为数字经济发展水平进行首尾各1%水平的缩尾后（DIG_W）对产业链韧性的回归结果，第（3）列为剔除异常年份后的估计结果。三种稳健性检验均表明黄河流域数字经济发展水平（DIG）仍对产业链韧性（ICR）有显著的促进作用，且回归系数变化较小，证明了前面估计结果的稳健性与可靠性，进一步验证了假说1。

为缓解内生性造成的估计偏误，提高估计精度，本研究构建系统GMM动态回归模型以检验模型的内生性问题。具体检验结果如表5第（4）列显示，在控制了内生性问题之后，数字经济对产业链韧性的影响系数与基准回归结果保持一致，AR（1）的P值为0.010，满足小于1%的要求，AR（2）的P值为0.579，大于0.1。因此，本次回归分析中不存在二阶序列自相关的问题。该模型有效克服了内生性问题，并且通过了Sargan检验和Hansen检验，这进一步证实了模型回归结果的合理性。

表5　数字经济对产业链韧性稳健性检验结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
变量	ICR	ICR	ICR	ICR
LDIG	0.48＊＊＊			
	(0.08)			
DIG_W		0.63＊＊＊		
		(0.07)		

①彭伟辉、雷秋丽：《数字经济对城市群经济韧性的影响研究——以中国十大城市群为例》，《现代金融》2024年第8期。

②曹晔：《数字新质生产力对产业链韧性的影响研究》，《统计与决策》2024年第10期。

DIG			0.27＊＊＊	0.155＊＊
			(4.91)	(1.96)
LICR				0.99＊＊＊
				(11.30)
FDI	−0.13	−0.09	0.05	−0.16
	(0.11)	(0.10)	(0.95)	(−0.32)
EdL	−0.01	−0.01	0.01	−0.01
	(0.01)	(0.01)	(1.61)	(−1.09)
UBL	−0.01	−0.02	−0.02	−0.01
	(0.02)	(0.02)	(−1.58)	(−1.20)
INS	0.03	−0.01	−0.03	−0.05
	(0.03)	(0.03)	(−1.19)	(−1.57)
CEL	0.00	0.00＊＊	−0.00	0.00
	(0.00)	(0.00)	(−0.42)	(1.04)
常数项	0.23	0.24＊	0.13	0.18
	(0.14)	(0.13)	(1.31)	(1.56)
时间固定	YES	YES	YES	—
个体固定	YES	YES	YES	—
N	836	912	684	836
R^2	0.96	0.96	0.98	—

注：＊＊＊、＊＊、＊分别表示在1%、5%和10%水平显著；括号内为城市层面的聚类稳健标准误。

（三）影响机制检验

1.科技创新的中介机制分析结果

（1）科技创新水平中介效应检验

使用黄河流域科技创新水平（Ino）作为中介变量，利用模型（2）和（3）进行中介机制检验，结果如表6的机制A所示。结果显示，在列（2）中，数字经济（DIG）对科技创新水平（High_te）的影响在1%的显著性水平下显著为正，即黄河流域数字经济能够显著促进地级市科技创新的发展，列（3）的结果显示，科技创新也能够显著的促进产业链韧性的发展，且Bootstrap检验结果显示Z统计量为4.87，置信区间不包括0值，说明科技创新水平作用机制的存在。

（2）劳动力就业规模中介效应检验

使用黄河流域劳动力就业规模（Labor）作为中介变量，利用模型（2）和（3）进行中介机制检验，结果如表6的机制B所示。结果显示，黄河流域数字经济发展水平对劳动力就业规模有显著的促进作用，但劳动力就业规模对产业链韧性的影响系数比较小，根据曹建飞和谭扬天（2024）①的研究，原因可能在于我国人力资本水平整体偏低，尤其在高技术领域人才较为短缺，关键核心领域“卡脖子”问题依然存在，在一定程度上抑制了产业链韧性提升。劳动力就业规模对产业链韧性产生了显著的促进作用，但作用较小。由以上中介效应检验结果，验证了本研究的假设2。

①曹建飞、谭扬天：《数字经济对产业链韧性的影响研究》，《商学研究》2024年第3期。

表 6　科技创新和劳动力就业规模的中介效应检验结果

	(1)	(2)	(3)
机制 A:科技创新中介效应			
变量	ICR	Ino	ICR
Ino			0.15＊＊＊ (4.3161)
DIG	0.51＊＊＊ (6.83)	0.83＊＊＊ (5.26)	0.39＊＊＊ (5.38)
Bootstrap 检验	5.27 [0.13　　0.29]		
效应占比	部分中介(24.36%)		
R^2	0.96	0.83	0.97
机制 B:劳动力就业规模中介效应			
变量	ICR	Labor	ICR
Labor			0.004＊＊＊ (2.8569)
DIG	0.51＊＊＊ (6.83)	1.58＊＊＊ (3.05)	0.51＊＊＊ (6.76)
Bootstrap 检验	3.76 [0.03　　0.08]		
效应占比	部分中介(6.10%)		
控制变量	YES	YES	YES
时间固定	YES	YES	YES
个体固定	YES	YES	YES
N	912	912	912
R^2	0.96	0.79	0.96

注:＊＊＊、＊＊、＊分别表示在1%、5%和10%水平显著;括号内为城市层面的聚类稳健标准误。

2.黄河流域产业结构升级产生的调节效应

借鉴王子睿和代泽月(2024)[①]的做法,利用上文构建的模型(4)对产业结构升级对数字经济提升产业链韧性的调节机制进行检验,结果如表7所示。黄河流域数字经济(DIG)对产业链韧性(ICR)的促进作用在加入调节变量之前结果是显著的,如表7列(1)。加入调节变量产业结构升级(High_te)后,基础回归仍然显著,并且数字经济与产业结构升级的交互项(DIG＊High_te)对产业链韧性回归结果显著。如表7列(2),交互项与主效应的影响方向一致,这表明产业结构升级在黄河流域数字经济促进产业链韧性提升过程中起着正向调节作用,黄河流域数字经济的发展促进了产业结构优化升级,增强黄河流域产业的抵抗风险能力和恢复能力,验证了假设3。

表 7　产业结构的调节效应检验结果

	(1)	(2)
变量	ICR	ICR
DIG	0.51＊＊＊	0.21＊＊＊
	(6.83)	(3.24)
High_te		0.39

①王子睿、代泽月:《数字经济与经济韧性:基于省级面板数据的研究》,《企业经济》2024年第10期。

		(1.60)
DIG * High_te		0.01 * * *
		(7.50)
FDI	−0.07	0.04
	(−0.75)	(0.46)
EdL	−0.01	−0.01
	(−1.10)	(−1.13)
UBL	−0.01	−0.01
	(−0.33)	(−0.59)
INS	0.00	0.07 * *
	(0.10)	(2.46)
CEL	0.00 *	0.00 * *
	(1.86)	(2.14)
常数项	0.18	0.16
	(1.36)	(1.30)
时间固定	YES	YES
个体固定	YES	YES
N	912	912
R^2	0.96	0.97

注：* * *、* *、*分别表示在1%、5%和10%水平显著；括号内为城市层面的聚类稳健标准误。

3.门槛效应

利用模型（5）和（6）实证检验数字经济对产业链韧性是否存在门槛效应。研究首先采用Bootstrap抽样方法，模拟似然比估计值500次，以确定门槛个数及其对应的门槛值。分析结果表明，城市对外开放水平（FDI）作为门槛变量，单一门槛值和双重门槛值显著，而三重门槛值不显著。说明数字经济对产业链韧性存在双重门槛效应。分析结果表8结果可知，当门槛变量值低于一重门槛值0.0138时，黄河流域数字经济对产业链韧性的回归系数为0.549，且在1%的显著性水平下显著。随着城市对外开放水平超过0.0138但低于双重门槛值0.0164，数字经济对产业链韧性的回归系数上升至0.670，同样在1%的显著性水平下显著。在城市对外开放水平的初期增强阶段，数字经济对产业链韧性的促进作用呈现出边际递增的趋势。然而，当城市对外开放水平超过双重门槛值0.0164后，数字经济对产业链韧性的影响系数降至0.507，且低于一重门槛值之前的影响水平。这一结果表明，在城市对外开放水平达到较高水平后，数字经济对产业链韧性的正向影响有所减弱。

表8　门槛回归结果

	(1)
变量	ICR
FDI·I	0.55 * * *
(FDI<0.0138)	(19.57)
FDI·I	0.67 * * *
0.0138<FDI<0.0164	(22.84)
FDI·I	0.51 * * *
FDI>0.0164	(21.39)
控制变量	YES
R^2	0.63

注：* * *、* *、*分别表示在1%、5%和10%水平显著；括号内为城市层面的聚类稳健标准误。

为了进一步证明门槛效应模型的显著性，绘制了如图1所示的双门槛LR似然比函数图，第一个门限

（First Threshold）与第二个门限（2nd Threshold）的 LR 图像均与水平线（虚线）有交点，分别确定了两个门限值的置信区间，所以通过了显著性的检验。

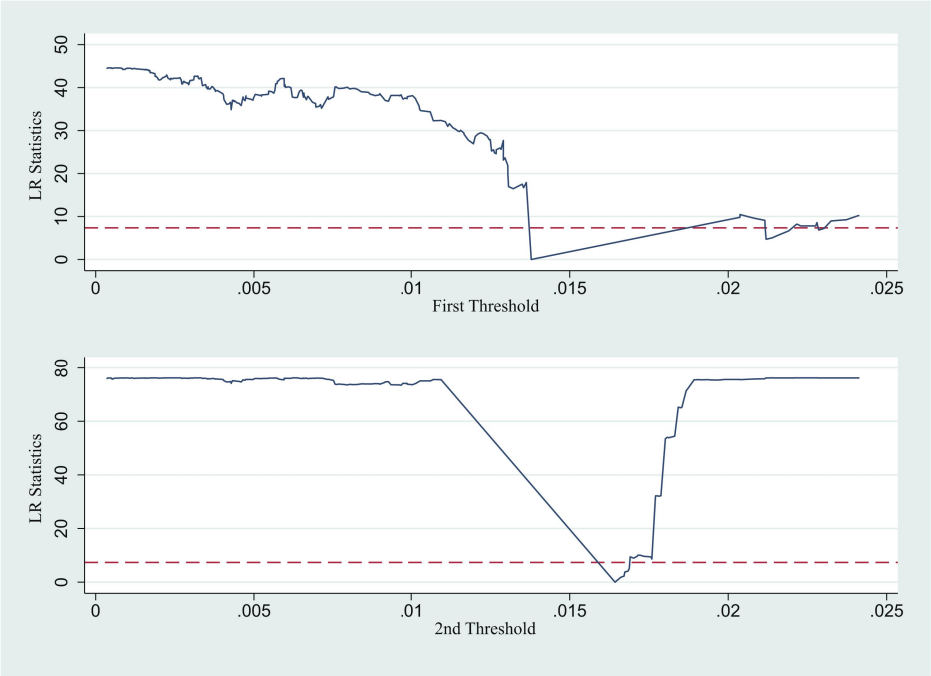


图 1　双门槛 LR 似然比函数图

结果表明，黄河流域数字经济对产业链韧性的促进作用受城市对外开放水平的影响，且这种影响呈现非线性的倒“U”型趋势。具体而言，随着城市对外开放水平的提升，数字经济对产业链韧性的促进作用在初期呈现出边际递增的趋势。高水平的对外开放能够为数字经济的发展提供必要的资源和环境支持，通过扩大开放，可以引入更多的资本、技术和人才，这些因素是推动数字经济成长的关键要素。此外，对外开放水平的提升有助于城市吸引外向型科技企业，优化外向型经济产业结构，推动更大范围、更宽领域、更深层次的对外开放。但是城市对外开放水平跨越双重门槛之后，这种促进作用呈现下降的趋势，随着对外直接投资的增长，生产基地大量向国外转移，可能导致装备制造业的萎缩和产业空心化，从而不利于产业链韧性的提升。基于此，验证了本研究的假设 4。

（四）区域异质性研究

考虑到地理位置因素，不同区域在资源禀赋、经济发展阶段以及产业基础等方面表现出显著差异。这些差异可能导致产业链韧性与数字经济发展水平在区域间存在异质性，进而使得数字经济对产业链的影响也呈现出区域异质性特征。本研究对黄河流域的上、中、下游地区分别进行了回归分析，相关结果详见表 9。黄河流域上游地区数字经济对产业链韧性影响的回归系数显著为正，但是与其他两个区域比起来影响系数较小，可能是由于这些地区数字经济的发展水平相对较低，数字基础设施建设不够完善，以及数字技术与实体经济的融合程度不足。这些因素限制了数字经济在推动产业链现代化和提升产业链韧性方面的作用。同时，上游地区的产业结构较为传统，对数字经济的依赖度不高，导致数字经济对产业链韧性的影响有限。此外，这些地区的生态环境脆弱，经济发展需要更多考虑生态保护，这也影响了数字经济在产业链中的应用和推广。

中游地区所在地市多位于陕西和山西省两省，近年来两省都出台相关政策推动地区数字经济的发展，并取得了一定成效，反映在回归结果中的表 9 列（2）中，黄河流域中游地区的数字经济发展水平相对于上游地区要高，因此回归系数也要更大一些。

黄河流域下游地区的城市位于山东省和河南省，其数字经济对产业链韧性的影响系数最大，参见表 9

列（3）。这主要是因为山东省和河南省的数字经济发展水平较高，这为产业链韧性的提升提供了坚实的基础。山东省的数字经济总量突破3万亿元，占GDP比重超过41%，河南省的数字经济规模也已超过1万亿元。两省份数字经济发展水平和规模较高，能够显著提高供应链的运行效率，有助于增强企业链的稳定性。同时，山东省和河南省在基础设施投资方面也具有优势。一方面，这两个省份拥有较为完善的交通运输体系，为数字经济的发展提供了良好的物质基础。另一方面，基础设施的完善不仅有助于数字技术的普及和应用，还能够促进产业链上下游的协同发展与联动。

本研究的区域异质性回归结果表明，黄河流域数字经济促进产业链韧性发展的效果具有区域异质性，验证了本研究的假设5。

表9　流域各地区数字经济对产业链韧性影响的异质性

	（1）	（2）	（3）
	上游地区	中游地区	下游地区
变量	ICR	ICR	ICR
DIG	0.36＊＊＊	0.36＊	0.48＊＊＊
	（6.20）	（1.72）	（6.17）
常数项	0.08	−1.89＊＊	0.20
	（0.75）	（−2.16）	（0.53）
控制变量	YES	YES	YES
时间固定	YES	YES	YES
个体固定	YES	YES	YES
N	264	300	348
R^2	0.89	0.98	0.96

注：＊＊＊、＊＊、＊分别表示在1%、5%和10%水平显著；括号内为城市层面的聚类稳健标准误。

五、研究结论与政策启示

（一）研究结论

基于黄河流域76个地级市2011—2022年面板数据，本研究运用中介效应、调节效应以及门槛效应等模型实证检验黄河流域数字经济对产业链韧性的影响及其作用机制，主要结论如下：

第一，黄河流域数字经济可以显著提高城市产业链韧性，在进行多种稳健性检验后结果仍然显著，结论不变。黄河流域数字经济对产业链韧性的促进作用呈现区域异质性。

第二，黄河流域的科技创新水平和劳动力就业规模在数字经济影响产业链韧性的过程中起到中介作用，劳动力就业规模的影响作用较小。黄河流域产业结构升级在数字经济发展提升产业链韧性水平过程中起到正向的调节作用。

第三，黄河流域数字经济对产业链韧性的促进作用受城市对外开放水平的影响，且这种影响呈现非线性的倒“U”型趋势，数字经济对产业链韧性的促进作用在城市对外开放水平初期呈现出边际递增的趋势，城市对外开放水平跨越双重门槛之后，这种促进作用呈现下降的趋势，且低于对外开放水平初期。

（二）政策启示

第一，加强数字基础设施建设。数字基础设施是数字经济发展的基石，包括高速互联网、云计算中心、大数据中心等。黄河流域在数字基础设施方面仍存在区域发展不均衡的问题，部分偏远地区的数字化水平较低，限制了其参与数字经济和提升产业链韧性的能力。（1）加大投资力度：政府应通过财政资金、引导社会资本等多种方式，加大对黄河流域数字基础设施的投资，尤其是在偏远地区和农村地区，确保这些区域能够接入高速互联网和数字服务。（2）推动公共服务平台建设：建立区域性公共数字服务平台，整合各类数字资源，提供数据共享、技术支持和服务。这不仅有助于中小企业获取数字技术和信息，还能促进资源的高效配置。（3）提升网络安全保障：随着数字化进程的加快，网络安全问题日益凸显。政府需制定相关政

策，推动网络安全技术的研发和应用，保障数字经济环境的安全性，为产业链的稳定运行提供保障。

第二，促进数字技术与传统产业的深度融合。数字经济的核心在于利用数字技术提升传统产业的效率与韧性。黄河流域的经济结构中，传统产业占比较大，通过数字转型，可以有效提升其抗风险能力和市场适应性。(1) 支持企业数字化转型：政府可设立专项资金或补贴，对进行数字化转型的企业给予支持。同时，组织培训和技术指导，帮助企业了解如何运用数字技术提升生产管理和供应链管理水平。(2) 促进产学研合作：鼓励高校和科研机构与企业合作，开展数字技术研发和应用示范。通过建立创新共同体，推动数字技术在实际生产中的应用，提升企业的技术水平和市场竞争力。(3) 建设数字化示范区：在黄河流域选择若干个具有代表性的地区或企业，建设数字化转型示范区，探索数字技术在传统产业中的应用模式和路径，形成可复制的经验和模式。

第三，构建数字经济生态系统。数字经济的健康发展离不开完善的生态系统，包括政策支持、市场机制、创新能力等。黄河流域应构建一个开放、协作、创新的数字经济生态系统，以提升整体产业链的韧性。(1) 完善政策法规支持：建立和完善与数字经济相关的法律法规，明确数字经济发展中的权利和义务，为企业和个人的数字活动提供法律保障，营造良好发展环境。(2) 促进跨界合作：鼓励不同行业之间的跨界合作，形成数字经济发展合力。例如，可推动制造业与信息技术、金融业的融合，促进供应链上下游企业的信息共享与协作，提高整体供应链的灵活性和应变能力。(3) 激励创新和创业：通过政策引导和支持，激励创业创新，尤其是关注数字经济领域的新兴企业。可设立创新基金，支持新技术、新模式的研发，推动新兴产业快速成长，增强产业链的多样性和抗风险能力。

The Influence of Digital Economy in the Yellow River Basin on the Resilience of Industrial Chain

GAO Jian-gang, CAI Yuan-tao, XU Kai

(School of Business, Liaocheng University, Liaocheng 252000, China)

Abstract: Enhancing the industry chain resilience of the Yellow River Basin is not only fundamental to maintain the robust economic cycle of the Yellow River Basin, but also an urgent need to realize the long-term stable and high-quality development of the regional economy and society. Based on the panel data of 76 prefecture-level cities in the Yellow River Basin from 2011 to 2022, this study examines the effect, mechanism, heterogeneity performance and nonlinear influence relationship of the digital economy in the Yellow River Basin affecting the level of industry chain toughness. The research results show that: the digital economy in the Yellow River Basin significantly promotes the toughness level of the industrial chain, and this effect has an inverted "U"-shaped nonlinear influence with the improvement of the city's level of openness to the outside world; the impact of the digital economy in the Yellow River Basin on the toughness of the industrial chain is asymmetric, and the middle and lower regions with more advanced levels of economic development, digital infrastructure and platform development are the most important areas of the industrial chain. The impact of digital economy on industry chain toughness in the Yellow River Basin is asymmetric, and the promotion effect of digital economy on industry chain toughness is more obvious in the middle and lower reaches of the region, where the level of economic development, digital infrastructure and platform development are more advanced; the mechanism test shows that the digital economy can indirectly affect the industry chain toughness level through the promotion of scientific and technological innovation and expansion of the scale of employment of the labor force in the two paths, and the transformation and upgrading of the industrial structure is also positively adjusting the promotion effect of the digital economy on the industry chain toughness.

Key words: digital economy; industrial chain toughness; scientific and technological innovation; employment scale of labor force; Threshold Effect

[责任编辑　如初]