数智化对长江经济带制造业高质量发展的影响

熊云飚，李梦霞

（云南民族大学经济与管理学院，昆明 650500）

摘要：新时期制造业企业高质量发展是推动制造强国建设的重要战略环节。选取2013—2023年长江经济带11个省份的面板数据分析数智化对制造业高质量发展的影响及其作用机制。结果表明，数智化能够促进长江经济带制造业高质量发展，且人力资本发挥着正向调节作用。机制分析表明，随着技术创新水平的提高，数智化对长江经济带制造业高质量发展具有边际效应递增的非线性特征。对此，提出相关政策建议，为长江经济带制造业高质量发展提供启示。

关键词：数智化；制造业高质量发展；技术创新；人力资本

中图分类号：F424.5；F127.5 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)04－0087－10

“十四五”规划明确指出“坚持把发展经济着力点放在实体经济上，加快推进制造强国、质量强国建设”“增强制造业竞争优势，推动制造业高质量发展”。当前，长江经济带制造业正处于“增加效率、提高质量”的加速发展时期，提高发展质量是制造业发展的基石。然而，随着中国社会经济转型进程加快，经济增长动力逐步由劳动力、资本要素驱动转向技术要素驱动，经济发展呈现两个深刻转变：一是从经济的协调发展转向经济、社会、市场、创新、生态等多维度的协调发展；二是由一般发展迈向高质量发展。在此双重转变背景下，长江经济带制造业高质量发展应依托何种新动能？显然，单纯依靠工业、贸易等传统动能难以推动长江经济带制造业发展跨上新台阶，更高质量的发展亟须更强大的新动能支撑。

当今世界，人类社会经过信息互联网、消费互联网再到产业互联网的蓬勃发展，数字经济形态已经超越信息化和自动化的阶段，进入数智化创新发展的新阶段。数智化，即以大数据、人工智能、物联网、工业互联网等先进技术为依托，将数字化与智能化深度融合，为制造业的生产、运营、管理等各个环节带来全方位、深层次的变革[1]。从精准的市场需求预测到智能化的生产流程控制，从高效的供应链协同管理到个性化的产品定制服务，数智化所展现的强大赋能作用，正逐渐成为制造业突破传统发展瓶颈、实现高质量发展的关键驱动力。并且相较于数字化所强调的数据连接和数据反馈，数智化更加突出对数据要素进行价值挖掘，通过对数据的深度学习，发展出与人类智能比肩乃至超越人类智能的数据智能，同时注重对人类智能的数字化连接、管理与利用，最终实现虚拟世界与现实世界的双向融合与赋能，促进人机协同的智能化互动，并随着数字经济的不断深入发展，逐渐渗透到社会生活、生产经营与金融服务之中，推动数智化社会的建设[2]。因此，深入探索数智化如何影响长江经济带制造业高质量发展对于增强整个长江经济带制造业产业结构优化、区域协同发展以及在全球产业链中地位，推动中国实现社会主义现代化目标具有重要意义。

目前关于数智化对制造业高质量发展的相关研究较少，主要从数智化相关概念数字化、智能化、数字经济等角度入手分析其对高质量发展的影响。在理论层面，刘国斌和祁伯祥[3]认为数智化是将数字智慧化与智慧数字化有机结合起来，旨在构成人机的深度对话与相互的深度学习，即以智慧为纽带，形成人机互融、智能协同与虚实相构的新生态。余东华[4]认为制造业高质量发展是指在新发展理念指导下，生产制造销售全过程实现生产要素投入低、资源配置效率高、品质提升实力强、生态环境质量优、经济社会效益好的高水平可持续发展。任保平和李培伟[5]认为数字经济以数据为新的关键生产要素、以创新为驱动力赋能经济高质量发展，以及

收稿日期：2025-09-03

作者简介：熊云飚(1969—)，男，云南武定人，硕士，教授，硕士研究生导师，研究方向为宏观经济运行与调控；李梦霞(2001—)，女，江西抚州人，硕士研究生，研究方向为数字经济和产业经济。

通过动力变革、效率变革和质量变革提高全要素生产率来实现我国经济高质量发展。在实证层面，陈映和肖治涵[6]利用2013—2021年中国省级面板数据实证分析发现数字经济可对制造业高质量发展中的产品质量、产业结构、经济效益等维度产生积极促进作用，其中，人力资本、技术创新可发挥传导作用。王春雷等[7]依据新质生产力高效能、高质量、高科技三个特征构建数字经济发展指数，实证结果支持人力资本、技术创新和制造业集聚是数字经济助推制造业高质量发展过程中的三条重要机制。惠宁和杨昕[8]认为数字经济能够通过扩大人力资本积累和激发创业活力驱动制造业高质量发展。张树山和董旭达[9]以2012—2022沪深A股制造业企业为样本发现智能化转型能够显著提升制造业企业高质量发展。张吉昌等[10]使用沪深A股转型主要通过促进人力资本结构升级、提高吸收能力和强化服务型制造来促进制造企业高质量发展。霍春辉等[11]根据2010—2020年A股制造业上市公司数据探讨数智化转型与制造企业高质量发展关系，认为行业竞争度和市场化程度分别对数字化转型行业同群效应、地区同群效应与制造企业高质量发展关系产生倒U形调节效应。吴中日等[12]指出数智化转型对制造业企业高质量发展具有显著正向影响，且技术创新在其中发挥关键的中介作用，市场竞争发挥正向调节作用。

综上，既有研究成果为本文研究数智化对长江经济带制造业高质量发展的影响效应提供了有益的借鉴和启示，但相较于数字经济相关研究，将数字化与智能化相结合的数智化这一概念的研究较少且研究方向比较发散，有很大的研究空间。因此，本文首先构建长江经济带11个省份的数智化水平、制造业高质量发展水平评价指标体系对二者进行测算并分析，然后研究数智化对长江经济带制造业高质量发展的影响机理和经济成效，深入分析在不同的技术创新水平下，数智化对制造业高质量发展水平的影响呈现的趋势，并且人力资本发挥怎样的调节作用，以期为长江经济带制造业数智化转型实践提供理论依据，为以增强制造业高质量发展为目标的相关政策制定提供新的政策视角。

1 理论分析与研究假说

1.1 数智化对长江经济带制造业高质量发展的直接效应

制造业高质量发展是指制造业体系在经济效益、产业结构、创新能力、绿色转型、开放竞争五个维度上实现协同优化，以创新为主要驱动力的集约式、可持续、包容性的发展模式，最终构建具有国际竞争力、抗风险能力和持续创新活力的现代化制造业体系[13]。数智技术与制造业的融合能够实现制造业体系在经济效益、产业结构创新能力、绿色转型、开放竞争五大维度的协同优化，从而实现制造业高质量发展。数智化能够提高生产效率、优化资源配置、降低运营成本，从而在经济效益维度显著提升制造业的产出效率和盈利能力。一方面，通过企业资源计划（enterprise resource planning，ERP）、生产执行系统（manufacturing execution system，MES）等系统集成，实现数据驱动的智能调度与决策，大幅度降低内部沟通协调成本；工业互联网平台实现供应链上下游实时可视化，精准匹配供需，降低库存成本、物流成本与搜寻成本[14]。另一方面，柔性生产线和数智设计平台，使企业能够以接近大规模生产的成本，满足小批量、多品种的定制化需求，开辟新的利润空间，实施产品在线质量检测和预测性维护机制，最大限度提升良品率、减少设备停机。数智化通过数据驱动决策和智能化供应链管理，推动产业结构向高端化、服务化转型。在宏观层面，数智化应用于实体经济，产业结构将由中低端向中高端转型，生产方式由劳动密集型、传统型向技术密集型、智能型转化，尤其是技术密集型取代劳动密集型，传统产业普通劳动力被数智技术应用所“挤出”，大量剩余劳动力将在经济转型过程中逐渐消化，经济增长由粗放式、高成本、高消耗向集约式、低成本、低消耗的转型[15]。在微观层面，数智技术如应用程序编程接口（application programming interface，API）、标准化数据协议等将大型复杂产品的研发和生产分解为独立的、标准化的模块，由不同的企业并行完成，降低了产业进入门槛，促进专业化中小企业发展，形成“链主企业＋专业化模块供应商”的产业集群生态，提升产业链的韧性[16]。数智化增强创新能力，支持研发设计协同和产品迭代，加速技术成果转化。数智技术创新推动生产过程优化、组织模式改进以及新数字产品、数字模式和商业模式的出现，能突破长江经济带制造业的传统研发局限，如数字孪生和仿真模拟提供了“低成本试错”的沙盒环境，可在虚拟空间进行模拟仿真和测试，极大缩短研发周期，降低试错成本。云平台、协同设计等工具，极大地降低企业与高校、企业、研究机构乃至用户之间进行协同创新的沟通与合作成本，使开放式创新从一种战略选

择变为一种高效、可行的常态,加速知识溢出和创新循环[17]。数智化赋能绿色转型。基于数字化赋能理论,从资源赋能视角出发,企业数字化技术转型水平提升以及高效联通的信息网络与先进的数字化设计有助于提升企业资源整合能力[18],将绿色创新要素融入企业生产和运营过程,形成多方参与互动的绿色发展网络,在促进企业产出增加的同时能够进一步改善环境治理绩效,通过遍布生产线的传感器物联网(internet of things,IoT)等智能监测和能源管理系统实现能源和污染数据的实时透明化,是管理者能够精准定位问题、实施精细化管理,从源头和过程上实现节能降耗[19]。数智化提升开放竞争能力,通过数字化平台拓展国际市场接入和竞争协同。具体作用于提升贸易便利化水平,显著降低企业嵌入全球供应链的门槛,助推更多中小企业融入全球普惠贸易体系,同时拓展全球产业链、供应链分工的广度与深度。依托大数据、人工智能、云计算、区块链等前沿技术,口岸物流的电子化、无纸化进程及“单一窗口”建设得以加速推进,报关清关流程大幅简化,贸易便利化水平进一步优化,国际贸易中的制度性成本有效削减,从而为中小企业开展“多频次、碎片化、小额化”国际贸易创造了条件[20]。因此,数智化不仅是制造业高质量发展的核心驱动力,更是突破传统发展瓶颈的关键支撑。基于此,提出以下假设。

H1:数智化能够促进长江经济带制造业高质量发展。

1.2 人力资本的调节效应

人力资本作为技能与知识的核心载体,是驱动经济高质量发展的关键要素[21]。数智化能替代产生价值较低的工种,是释放人类体力、脑力与智力,摆脱繁重型、危险型、单调型和低水平重复型劳动,从事更高定位、更有价值工作的社会进步趋向[22]。随着数智技术的快速发展,高技能人才需求也相应增加,高技能人才可在生产活动中可发挥出向下兼容的作用,跨越数智化的技能门槛,迅速掌握数智技术的使用方法和操作技能,适应数智化前沿面的技术进步和数智化转型带来的生产模式创新。首先,高素质的人力资本不仅能吸收数字化知识,还能将其转化为实际的生产能力,应用于生产流程优化、产品创新设计等环节[23]。例如,通过对市场调研数据、第三方数据提供商的数据、社交媒体数据、客户类数据进行搜集与清洗得到的数据资产,可以帮助企业了解行业市场趋势、竞争对手和客户偏好,从而对需求预测、产品设计、供应链管理及库存管理等环节精准把控,企业可以做出准确且针对性的决策,扩大产品可能性边界,提高产品品质和品牌形象,实现高质量发展[24]。另外,产业数智化程度越高,越能够吸引高技能劳动者集聚,当信息技术投资与熟练劳动力的使用相结合时,这一互补性投资组合能够产生超额生产率增长,反之,当劳动力的知识和技能与产业数智化需求不匹配时,数智化发展可能会挤出低技能劳动力,导致信息技术投资对中低端劳动力产生替代效应[25]。最后,高素质的人力资本在不同企业和产业间的流动,能够促进知识和技术的传播,加强长江经济带制造业与上下游产业以及相关服务业之间的协同发展。例如,数字化技术人才在制造业企业与软件服务企业之间的交流合作,有助于实现制造业生产与数字化服务的深度融合,推动产业链的整体数字化升级[14]。这种产业协同效应进一步放大了数智化对制造业高质量发展的促进作用。基于此,提出以下假设。

H2:人力资本能够强化数智化对长江经济带制造业高质量发展的推动作用。

1.3 技术创新的门槛效应

技术创新是推动企业新旧动能转换、优化资源配置、降低成本提升效率的核心力量,更是提升全要素生产率以实现高质量发展的关键因素[26]。一是通过引入自动化设备和智能化系统,减少对生产过程的人工干预,实现生产过程的自动化、系统化和生产管理的信息化、智能化,从而提高制造业的生产效率。二是通过引入先进技术、优化生产流程、提升员工素质和加强研发创新等多方面的举措来实现精准生产、精细加工,并提高对高端产品的研发、生产能力。三是推动实现供需动态平衡,主要利用各类数据信息和数字化交易平台,畅通“产、购、储、加、销”各环节,以供给侧产品的高效率供给能力回应市场需求,形成“需求牵引供给,供给创造需求”的市场互动机制[27]。但当企业的技术创新水平低于某一临界阈值时,其内部知识基础薄弱,吸收能力严重不足。这将导致即使企业引入先进的数智化解决方案,也往往局限于浅层的流程互动化或数据可视化,难以将数智化内核与其核心业务流程、产品研发进行深度整合,导致巨大的数智化投资无法转化为相应的绩效改善,数智化的促进作用受限。只有企业的技术创新水平跨越该门槛,企业本身积累的技术基础才能够承载进一步的数智投资,通过市场机制和企业逐利机制激发企业市场活

力和创新能力，将其无缝嵌入从精准研发、智能生产到敏捷服务的价值链全过程，实现技术互补性融合，开辟新的经济增长点[28]。并且，高水平的技术创新能使数智化平台进行再创新和范式重构，如开发数据驱动的新商业模式或智能化的定制服务，从而最大限度释放数智化对制造业高质量发展的促进作用。基于此，提出以下假设。

H3：技术创新在数智化驱动长江经济带制造业高质量发展的进程中存在显著的门槛效应。

2　研究设计

2.1　变量说明

2.1.1　被解释变量：制造业高质量发展（Hdmi）

根据制造业高质量发展内涵、国家出台的制造业发展政策规划，基于指标选取的科学性、全面性、可比性等原则以及数据的可获得性，参考谢伟丽等[18]、张爱琴和张海超[29]、史丹和李鹏[30]的做法，结合长江经济带涉及 11 个省份可获得的数据，构建了包括经济效益、产业结构、创新能力、绿色转型、开放竞争 5 个一级指标和 15 个二级指标，具体指标体系如表 1 所示。通过熵值法进行赋权。

2.1.2　核心解释变量：数智化（DI）

目前，关于核心解释变量数智化水平具体测度的相关文献较少，主要集中在两方面。一方面，从企业的角度借助 Python 软件的 Jieba 分词功能，根据数智化转型文本检索关键词库对每家上市公司的年报进行数据挖掘来侧面反映数智化水平；另一方面，从省级层面以及地级市层面构建综合评价指标体系，综合评价一个地区的数智化水平。参考刘亮等[31]、王林辉等[32]、袁亮等[33]的做法，从数字化和智能化两个维度出发，构建长江经济带 11 个省份的数智化水平指标体系，具体指标情况如表 2 所示。

2.1.3　机制变量

（1）技术创新（Tec）。技术创新是制造业实现高质量发展的非竞争性核心驱动力，选择规模以上工业企业有效发明专利数衡量。

（2）人力资本（EDU）。人力资本是衡量劳动力素质和创新的重要指标，采用高技术制造业 R&D 人员数量衡量。

2.1.4　控制变量

制造业高质量发展水平除了受到数智化的直接影响，可能还会被其他因素所左右，为减少遗漏变量的影响，根据既有制造业高质量发展相关文献选取以下变量做控制变量：①政府支持力度（Gov），利用科学技术支出占财政预算支出比例度量；②市场化程度（Mar），2011—2019 年是根据《中国分省份市场化指数报告》[35-36]得到，2020—2022 年利用历年数据的年平均增长幅度来预测未披露信息年度的数据来衡量；③城镇化水平（Urb），以城镇人口占总人口数比例来衡量；④基础设施投入（Infr），选取公路里程的对数来衡量。

2.2　数据来源

利用 2013—2023 年长江经济带 11 个省份（上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、云南）的样本数据，共计 132 个观测值。原始数据主要来自《中国工业统计年鉴》《中国高技术产业统计年鉴》、EPS（economy prediction system）数据平台及各省份统计年鉴，个别数据缺失通过线性插值法补齐。表 3 展示了各变量的描述性统计结果。

表 1　制造业高质量发展水平指标体系

一级指标	二级指标	指标解释	指标属性	权重
经济效益	制造业增长速度	本年工业增加值/上一年工业增加值	＋	0.005
	制造业企业利润率	规模以上工业企业利润总额/规模以上工业企业主营业务成本	＋	0.001
	制造业劳动生产效率	工业增加值/制造业平均用工人数	＋	0.028
产业结构	制造业产值占比	工业增加值/GDP	＋	0.005
	制造业产业结构高级化	高技术产业营业收入/规模以上工业营业收入	＋	0.162
	制造业产业结构合理化	第三产业增加值/第二产业增加值	＋	0.017
创新能力	研发投入强度	规模以上工业企业 R&D 经费支出/规模以上工业企业主营业务收入	＋	0.023
	人均发明专利数	发明专利数量/规模以上工业企业 R&D 人员数	＋	0.017
	研发人员投入力度	规模以上工业企业 R&D 人员数/制造业从业人数	＋	0.108
绿色转型	单位增加值能源消耗量	煤炭实物消耗量/工业增加值	－	0.059
	单位增加值二氧化硫排放量	二氧化硫排放量/工业增加值	－	0.103
	单位增加值工业固体废物产生量	工业固体废物综合利用量/工业增加值	－	0.102
	单位增加值废水化学含氧量	废水化学含氧量/工业增加值	－	0.059
开放竞争	外贸开放度	货物进出口总额/GDP	＋	0.135
	外资开放度	外商直接投资额/GDP	＋	0.173

表 2　数智化水平指标体系

一级指标	二级指标	计算方法	属性	权重/%
数字化	互联网普及率	互联网用户数/地区人口数	+	10.43
	互联网相关从业人员占就业人口比例	计算机服务和软件从业人员/就业人口数	+	21.49
	人均电信业务收入	电信业务收入/地区人口数	+	29.32
	每百人移动电话年末用户数	移动电话年末用户数/地区人口数	+	7.40
	数字普惠金融	来源于北京大学数字金融研究中心和蚂蚁科技集团共同编制的《北大数字普惠金融指数》	+	6.09
智能化	智能研发投入	人工智能专利数	+	4.66
	智能设备投入	信传软件服务业固定资产投资额	+	2.13
	软件开发与应用情况	基础软件、支撑软件和嵌入式应用软件等产品的收入/所有工业企业主营业务收入	+	18.47

表 3　变量描述性统计

变量类别	变量名称	变量符号	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	制造业高质量发展	Hdmi	132	0.091	0.127	0.054	0.564
核心解释变量	数智化	DT	132	−0.057	1.820	−3.146	5.282
门槛变量	技术创新	Tec	132	0.460	0.165	0.148	0.911
调节变量	人力资本	Edu	132	4.496	0.450	3.409	5.421
控制变量	政府支持力度	Gov	132	0.208	0.064	0.121	0.409
	市场化水平	Mar	132	8.947	1.778	4.138	12.864
	城镇化水平	Urb	132	0.574	0.132	0.350	0.896
	基础设施投入	Infr	132	1.277	0.366	0.083	1.608

2.3　模型设定

2.3.1　基准回归模型

首先检验数智化对长江经济带制造业高质量发展的直接影响,构建基准模型。

$$Hdmi_{it}=\alpha_0+\alpha_1 DI_{it}+\alpha_m X_{it}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中:i 为地区;t 为年份;$Hdmi_{it}$、DI_{it} 分别为 i 省在第 t 年的制造业高质量发展水平与数智化水平;X_{it} 为一系列控制变量;μ_i 为个体固定效应;δ_t 为时间固定效应;ε_{it} 为随机干扰项。

2.3.2　门槛效应模型

为验证数智化对长江经济带制造业高质量发展是否具有非线性作用,在式(1)的基础上引入示性函数,建立门槛模型。

$$Hdmi_{it}=\eta_0+\eta_1 DI_{it}\times I(q_{it}\leqslant\omega_1)+\eta_2 DI_{it}\times I(q_{it}>\omega_1)+\eta_m X_{it}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中:q_{it} 为门槛变量;ω_1 为门槛值,$I(\cdot)$ 为示性函数。函数值取决于门槛变量与门槛值之间的大小关系。$q_{it}\leqslant\omega_1$ 时,函数值为 1,否则为 0。

2.3.3　调节效应模型

考虑到人力资本在制造业高质量发展过程中发挥的重要作用,参考戴魁早等[34]的方法,根据理论基础引入相关调节变量进行检验。

$$Hdmi_{it}=\beta_0+\beta_1 DI_{it}+\beta_2 Edu_{it}+\beta_m X_{it}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$Hdmi_{it}=\beta_0+\beta_1 DI_{it}+\beta_2 Edu_{it}+\beta_3 DI_{it}\times Edu_{it}+\beta_m X_{it}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中:Edu_{it} 为调节变量人力资本;若 $Di_{it}\times Edu_{it}$ 系数显著为正意味着人力资本能够强化数智化对长江经济带制造业高质量发展的驱动作用,反之则抑制。

3　实证结果及分析

3.1　基准回归

首先对变量进行多重共线性检验,方差膨胀因子系数(VIF)检验结果显示,所用变量的 VIF 严格小于 5,故可以认为不存在多重共线性问题。其次,基于计量模型(1),分别使用随机效应(RE)和固定效应(FE)两种估计方法,稳健 Hausman 检验结果显示 P 为 0,拒绝了原假设,故选用固定效应模型进行回归分析,结果如表 4 所示。结果显示,无论是否添加控制变量,DI 的回归系数均为正值且通过了显著性检验,表明数智化对制造业高质量发展表现出正向影响,H1 得证。另外从控制变量来看,政府支持力度(Gov)与长江经济带制造业高质量发展之间具有显著的正向关系,政府加大资金扶持力度,设立专项基金、提供财政补贴等措施能有效缓解制造业企业在技术发、设备更新等关键环节面临的资金压力,有利于激发制造企业的创新活力,推动制造业向产业链中高端攀升,提高整体质量和竞争力。

3.2　内生性及稳健性检验

数智化和制造业高质量发展也可能互为因果,且二者都选择综合性指标进行衡量,易产生内生性问题。因此,需要通过工具变量法进行内生性处

理，识别数智化对制造业高质量发展影响的净效应，因数智化的传播推广运用，存在一定的滞后期。为减弱反向因果的影响，对数智化采用滞后二期加入回归进行实证检验。采用两阶段最小二乘法检验其内生性的影响，2SLS 回归结果如表 5 列(1)和列(2)所示。数智化对长江经济带制造业高质量发展的影响系数在 1%的水平上显著，这表明，即便排除内生性之后，数智化对长江经济带制造业高质量发展起到了显著的促进作用。此外且内生工具变量 L2_DT 检验结果通过了不可识别检验和弱工具检验，说明本文工具变量选取是合理的。

表 4　基准回归

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	Hdmi	Hdmi	Hdmi	Hdmi
DI	0.020***	0.021***	0.038***	0.029***
	(0.002)	(0.002)	(0.009)	(0.008)
Gov		0.151		0.801***
		(0.123)		(0.145)
Mar		−0.001		−0.004
		(0.004)		(0.003)
Urb		0.179		0.124
		(0.126)		(0.085)
Infr		−0.218**		−0.102
		(0.106)		(0.075)
常数项	0.159***	0.288***	0.159***	0.069
	(0.003)	(0.082)	(0.002)	(0.074)
时间固定效应	否	否	是	是
个体固定效应	是	是	是	是
R^2	0.947	0.950	0.969	0.980
观测值	132	132	132	132
F	68.788	16.101	18.927	17.410

注：***、**、* 分别表示 1%、5%、10%的显著性水平；括号内为稳健标准误。

表 5　内生及稳健性检验

变量	DT		HDMI	
	(1)	(2)	(3)	(4)
	2SLS-第一阶段	2SLS-第二阶段	缩短样本周期	缩尾处理
DT		0.022***	0.041***	0.030***
		(0.008)	(0.010)	(0.008)
L2.DT	0.820***			
	(0.039)			
控制变量	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是
不可识别检验		36.426***		
弱工具变量检验		432.361***		
R^2		0.679	0.987	0.980
观测值		110	77	132
F			22.017	17.491

注：***、**、* 分别表示 1%、5%、10%的显著性水平；括号内为稳健标准误。

为进一步证实结果的可靠性，采用以下方法进行稳健性检验：①缩短样本周期。考虑到 2020 年爆发的新冠肺炎疫情对全球经济和中国制造业造成的罕见外部冲击，为避免这一极端异常事件的干扰，更清晰地揭示数智化在正常经济环境下的作用，采取缩短样本周期的方式用 2013—2019 年的样本来反映今年来的影响效应。②缩尾处理。鉴于中国区域经济发展不协调，将原始数据进行首尾两端 2.5%进行截尾后，再次检验基准模型。回归结果如表 5 列(3)和列(4)所示，列(3)为缩短样本周期的结果，列(4)为对所有变量缩尾的结果，核心解释变量数智化的系数在 1%的水平上显著为正，与基准回归结构保持一致。

3.3　调节效应检验

为了检验数智化对长江经济带制造业高质量发展影响中的调节效应，将人力资本作为调节变量，在基础模型中引入交互项进行实证检验，根据式(3)得到调节效应模型估计结果表 6 列(1)所示，交互项(DE×EDU)系数大于 0，且通过了 1%的显著性水平检验，证明人力资本在数智化正向调节作用下促进了长江经济带制造业高质量发展水平的提升。原因可能在于：一方面，较高的人力资本水平能推动数智化技术落地、数智化创新应用。高素质的人力资本往往不仅具备计算机科学、数据分析、自动化等专业知识背景，而且富有创新思维和探索精神。能通过人工智能算法、大数据分析工具、工业互联网平台架构等手段结合制造业企业的实际需求，创造性地运用数智化技术开展产品创新、

表 6　调节与门槛效应分析结果

变量	(1)	(2)
	HDMI	HDMI
DT	0.028***	
	(0.008)	
DT×EDU	0.022***	
	(0.004)	
DT×I(TEC≤0.614 8)		0.013***
		(0.002)
DT×I(TEC>0.614 8)		0.038***
		(0.003)
控制变量	是	是
时间固定效应	是	是
个体固定效应	是	是
R^2	0.986	0.709
观测值	132	132
F	19.802	135.621

注：***、**、* 分别表示 1%、5%、10%的显著性水平；括号内为稳健标准误。

工艺创新和商业模式创新。帮助长江经济带制造业从传统制造模式向数智化制造模式的转变,提升生产效率和产品质量,促进制造业高质量发展。另一方面,高素质人才能发挥协同优化作用。丰富的高素质人力资本能够吸引更多的外部资源,如科研机构、科技企业等与制造业企业开展合作,带来更多的研发项目、资金投入以及先进技术交流机会。长江经济带制造业产业链较长,从原材料加工到零部件制造再到最终产品组装等环节都需要紧密协同。人力资本能够在产业链不同环节发挥桥梁和纽带作用,凭借其专业素养和沟通协调能力,促进各环节企业之间在数智化技术应用、数据共享、标准制定等方面达成共识、开展合作,提升产业链整体的数智化水平,进而推动制造业高质量发展。

3.4 门槛效应

考虑到数智化的网络效应以及其"边际效应"递增的梅特卡夫法则成立,为验证 H3,这里采用面板门槛回归模型进行实证检验。首先通过门槛效应自举抽样(Bootstrap)检验法获得 F 统计量的渐进值,并得到 P 值,分别在 300 次格点搜索以及 300 次自举抽样对门槛值进行检验,结果表明技术创新门槛变量 TEC 显著通过了单一门槛,未通过双重门槛和三重门槛检验,其门槛值如图 1 和表 7 所示。在此基础上设定相应门槛个数的回归模型,得到表 6 列(2)的回归结果。从中可以看到,当技术创新 TEC 水平≤0.614 8 时,交互项系数为 0.013,技术创新 TEC 水平高于门槛值 0.614 8 后,交互项系数增加到 0.038,随着技术创新水平值的提高,数智化对长江经济带制造业高质量发展的影响表现出了显著的正向且"边际效应"递增的非线性特征,H3 成立。原因可能是因为:①随着技术创新不断推进并达到一定程度,前期积累的大量数智化相关技术成果开始汇聚并产生质变,不同数智化技术之间的协同效应得以充分发挥。例如,在人工智能领域,经过长时间的算法研发、模型训练以及数据积累,企业能够实现更精准的智能预测、质量检测和生产调度等功能。工业互联网与人工智能、大数据技术相结合,企业可以构建起智能化的生产网络,实现设备之间的互联互通、实时数据交互以及智能协作。②高度的技术创新有助于完善长江经济带制造业的产业生态,形成网络效应。以创新驱动的数智化转型促使产业链上下游企业之间的协作更加紧密、高效,形成了更合理的分工和资源配置模式。例如,零部件供应商可以通过数智化技术实

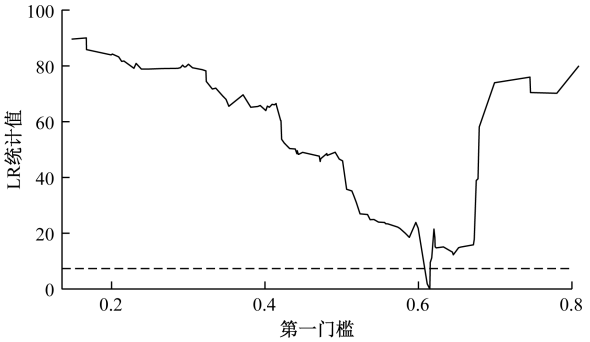


图 1 单一门槛值及其置信区间

表 7 门槛效应选择

门槛类型	RSS	MSE	F 统计量	P	门槛值	置信区间
单一门槛	0.057 9	0.000 5	102.50	0.000 0	0.614 8	[0.605 5 0.615 40]
双重门槛	0.052 7	0.000 5	11.15	0.346 7	0.617 3	[0.599 7 0.620 20]
					0.780 3	[0.677 7 0.809 10]

时对接主机厂的生产计划和需求变动,实现精准供货和库存优化。这种产业生态的优化会吸引更多相关企业加入,进一步拓展产业规模和市场空间,随着参与主体增多,数智化带来的好处会在整个产业中不断扩散和放大,呈现边际递增效应。③技术创新达到一定程度后,企业能够利用数智化手段实现产品的高度差异化,推动长江经济带制造业向高端化迈进,从传统的加工制造环节向研发设计、品牌营销等高附加值环节延伸。例如,航空航天、高端装备制造等的应用,能够实现更精密的生产工艺控制、更高效的创新研发,提升产业的整体附加值。而且随着产业高端化程度加深,数智化对制造业高质量发展的助力作用会不断放大,产生边际递增效应。

3.5 区域异质性检验

上文的实证检验结果表明,数智化可以显著提升制造业高质量发展。然而,不同地区由于受资源禀赋和金融发展阶段差异的影响,数智化对制造业高质量发展的影响可能存在一定的区域异质性。依据地理划分,长江经济带可划分为上、中、下游区域,这三个区域在自然环境、政策环境、产业结构等方面存在一定差异,这些差异可能造成数智化对制造业高质量发展的影响具有异质性,结果如表 8 所示。列(1)~列(3)的结果显示,数智化 DT 回归系数均为正,表明长江经济带上下游数智化水平对制造业高质量发展起着积极的促进作用,并且长江经

表8　区域异质性检验

变量	HDMI		
	(1)	(2)	(3)
	上游地区	中游地区	下游地区
DT	0.025*	−0.026	0.031***
	(0.013)	(0.038)	(0.009)
Gov	0.432*	0.589	0.927***
	(0.229)	(0.431)	(0.173)
Mar	−0.035	−0.054	−0.195***
	(0.079)	(0.052)	(0.042)
Urb	−0.008	−0.014	−0.000
	(0.007)	(0.008)	(0.002)
Infr	−0.178	1.268**	0.511***
	(0.302)	(0.573)	(0.096)
常数项	0.172	−0.603	0.047
	(0.226)	(0.384)	(0.102)
时间固定效应	是	是	是
个体固定效应	是	是	是
R^2	0.842	0.925	0.998
观测值	48	35	48
F	5.167	4.411	12.343

注：***、**、*分别表示1%、5%、10%的显著性水平；括号内为稳健标准误。

济带下游在5%的水平下显著，积极效应强于1%水平下显著的长江经济带上游。长江经济带下游省份有着更为雄厚的制造业产业基础并已形成了门类齐全、链条完整且高度集聚的产业集群，在数智化改造时更容易实现产业链上下游的协同升级，能快速将数智化技术融入生产、管理、销售等各个环节，提高整体生产效率、产品质量以及创新能力，有力推动制造业高质量发展。并且汇聚了大量顶尖的高校、科研院所能够源源不断地为制造业数智化转型提供前沿的技术成果、高素质的专业人才以及产学研合作的创新模式。而长江经济带上游省份制造业产业结构相对传统，部分地区仍以资源型、劳动密集型产业为主，产业集聚程度较难度。市场活跃度和消费能力整体弱于下游，对于高端、智能化制造业产品的本地消化能力有限，企业进行数智化转型的市场内生动力稍显不足，对制造业高质量发展的拉动效应相较更弱。另外，长江经济带中游省份制造业仍以传统产业为主，像钢铁、化工等传统重工业进行数智化转型时面临技术改造难度大、设备更新成本高、生产流程复杂等问题，难以在短期内实现数智化的有效应用和高质量发展。企业之间的关联性和协同性不够紧密，缺乏像下游地区那样完善的产业集群和供应链体系，难以发挥数智化对整个制造业产业生态的优化和提升作用。

4　结论与建议

4.1　结论

本文通过对制造业高质量发展进行系统测度，探究数智化对中国制造业高质量发展的影响，并深入分析其内在传导机制与异质性效果，得到主要结论如下：①数智化能够促进长江经济带制造业高质量发展，且该结论在内生性检验、稳健性检验后仍然成立；②机制分析表明，人力资本水平提升能够强化数智化水平提升对长江经济带制造业高质量发展的推动作用；③进一步深入分析，随着技术创新水平的提高，数智化对长江经济带制造业高质量发展具有边际效应递增的非线性特征；④数智化对长江经济带制造业高质量发展的影响存在异质性，数智化在长江经济带下游省份对制造业高质量发展的促进效应更为显著。

4.2　建议

(1)从“普惠式”投入转向“链条式”攻坚，破解关键技术瓶颈。设立“长江智造”关键环节攻关专项基金，改变“撒胡椒面”式的投入方式。建议由工业和信息化部牵头，联合沿江各省份财政和社会资本，共同设立目标明确的基金项目，重点支持“工业数据中台”“行业通用AI算法模型”“供应链协同SaaS平台”等具有强溢出效应的基础性、平台型技术研发，从而降低单个企业尤其是中小企业的数智化转型门槛。开展“链主”企业主导的协同创新试点。在长江经济带已有优势产业，如长三角的电子信息、长江中游的装备制造、成渝的汽车产业等，遴选一批“链主”企业，如上海汽车、武汉烽火、重庆长安等，鼓励其联合产业链上下游企业和高校院所，组建创新联合体，政府对此类联合体实施的共性技术攻关项目，给予最高不超过项目总投入一定比例的事后奖励补贴，激励成果在链内共享。政府制定《长江经济带制造业数智化产品分级标准》，由市场监管总局会同相关行业协会，针对利用数智化技术实现功能升级的终端产品，如智能家电、网联汽车等，制定从“基础互联”到“智能决策”的分级标准。对通过高级别认证的产品，给予政府采购优先权和“长江智造”品牌认证，利用市场机制引导企业进行差异化、高端化竞争。

(2)构建“产教融合共同体”，破解人才供需结构性矛盾。推行“长江工坊”校企共建模式。鼓励上、中、下游地区分别依托其核心产业，如上海的人工智能、武汉的光电子信息、成都的软件等，由地方政府、龙头企业和上海交通大学、华中科技大学、电

子科技大学等本地重点高校三方共建“长江工坊”,工坊课程由企业工程师与高校教师共同设计,学生在真实环境中完成实训,毕业生可获得企业认证,实现“毕业即上岗”。实施“数字工程师”跨区域认证与共享计划。由人力资源和社会保障部牵头,建立长江经济带互认的“智能制造系统集成”“工业数据分析”等高级技能人才认证体系。对于取得认证的人才,其在长三角的工龄、社保等权益可在经济带内实现无缝衔接,并鼓励发展“周末工程师”“项目制专家”等柔性人才共享模式,促进高端人才在区域内的有序流动。制定《制造业数智化转岗培训补贴指南》,针对传统制造岗位工人,设立专项转岗培训资金,企业组织员工参加认证培训并成功转岗至数智化新岗位的,可按每人次一定标准申领补贴,降低企业数智化转型的阵痛,保障就业稳定。

参考文献

[1] 王秉. 何为数智:数智概念的多重含义研究[J]. 情报杂志,2023,42(7):71-76.

[2] 陈国青,任明,卫强,等. 数智赋能:信息系统研究的新跃迁[J]. 管理世界,2022,38(1):180-196.

[3] 刘国斌,祁伯洋. 县域城镇数智化与信息化融合发展研究[J]. 情报科学,2022(3):21-26.

[4] 余东华. 制造业高质量发展的内涵、路径与动力机制[J]. 产业经济评论,2020(1):13-32.

[5] 任保平,李培伟. 数字经济培育我国经济高质量发展新动能的机制与路径[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2022,51(1):121-132.

[6] 陈映,肖治涵. 数字经济赋能制造业高质量发展的理论机制与实证检验[J]. 软科学,2025,39(5):42-50.

[7] 王春雷,贺丽君,黄素心. 新质生产力视角下数字经济推动制造业高质量发展的路径研究[J]. 广西民族大学学报(哲学社会科学版),2024,46(6):121-130.

[8] 惠宁,杨昕. 数字经济驱动与中国制造业高质量发展[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2022,51(1):133-147.

[9] 张树山,董旭达. 智能化转型、组织韧性与制造业企业高质量发展[J]. 中国流通经济,2024,38(1):104-114.

[10] 张吉昌,龙静,王泽民. 智能化转型如何赋能制造企业高质量发展?[J]. 经济与管理研究,2023,44(4):3-20.

[11] 霍春辉,吕梦晓,许晓娜. 数字化转型“同群效应”与企业高质量发展——基于制造业上市公司的经验证据[J]. 科技进步与对策,2023,40(4):77-87.

[12] 吴日中,刘雪. 数智化转型对制造业企业高质量发展的影响研究[J]. 长春大学学报,2025,35(7):31-41.

[13] 余东华. 制造业高质量发展的内涵、路径与动力机制[J]. 产业经济评论,2020(1):13-32.

[14] 程俊杰. 工业互联网促进产业链现代化:理论逻辑与突破路径[J]. 现代经济探讨,2023(1):93-102.

[15] 何玉长,方坤. 人工智能与实体经济融合的理论阐释[J]. 学术月刊,2018,50(5):56-67.

[16] 沈运红,黄桁. 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.

[17] 吕越,陈泳昌,张昊天,等. 电商平台与制造业企业创新——兼论数字经济和实体经济深度融合的创新驱动路径[J]. 经济研究,2023,58(8):174-190.

[18] 谢伟丽,石军伟,张起帆. 人工智能、要素禀赋与制造业高质量发展——来自中国208个城市的经验证据[J]. 经济与管理研究,2023,44(4):21-38.

[19] 吴卫红,杨帆,张爱美,等. 数字化技术转型、数字化治理能力与制造业企业绿色转型升级——基于数字化赋能理论的作用机制研究[J]. 科技进步与对策,2023,40(12):32-41.

[20] 杨继军,艾玮炜,范兆娟. 数字经济赋能全球产业链供应链分工的场景、治理与应对[J]. 经济学家,2022,(9):49-58.

[21] 欧进锋,叶祥松. 人工智能驱动制造业高质量发展的多维效应及作用机制研究[J]. 审计与经济研究,2025,40(4):104-115.

[22] 谭泓,张丽华. 人工智能促进人力资本流动与提升[J]. 科学学研究,2021,39(5):833-841.

[23] 苑泽明,于翔,李萌,等. 数据资产促进了中国企业人力资本水平提升吗?——基于文本分析法的经验证据[J]. 南开管理评论,2025,28(8):64-75.

[24] 于翔,牛彪,苑泽明. 价值链视角下“人数”协同对企业高质量发展的影响研究[J]. 科研管理,2025,46(3):60-68.

[25] 金环,于立宏,吴磊. 数字经济、人力资本流动与企业自主创新——基于中国创新调查企业的证据[J]. 产业经济评论,2024(5):110-126.

[26] 杨烜冰,王帅. 产业政策、技术创新与制造业企业高质量发展——基于《中国制造2025》的准自然实验[J]. 科技和产业,2025,25(8):277-285.

[27] 朱小艳. 新质生产力赋能制造业高质量发展路径探析[J]. 企业经济,2025(6):131-139.

[28] 孙祁祥,周新发. 科技创新与经济高质量发展[J]. 北京大学学报(哲学社会科学版),2020,57(3):140-149.

[29] 张爱琴,张海超. 数字化转型背景下制造业高质量发展水平测度分析[J]. 科技管理研究,2021,41(19):68-75.

[30] 史丹,李鹏. 中国工业70年发展质量演进及其现状评价[J]. 中国工业经济,2019(9):5-23.

[31] 刘亮,李廉水,程中华,等. 智能化如何影响技术进步偏向?[J]. 研究与发展管理,2020(4):1-11.

[32] 王林辉,姜昊,董直庆. 工业智能化会重塑企业地理格局吗[J]. 中国工业经济,2022(2):137-155.

[33] 袁亮,张姝琦,何伟军,等. 长江经济带数智化水平对绿色全要素生产率的影响研究[J]. 长江流域资源与环境,2025,34(5):923-936.

[34] 戴魁早，黄姿，梁银笛. 数智技术、技术要素市场与服务型制造[J]. 中国工业经济，2025(1)：137-155.
[35] 王小鲁，胡李鹏，樊纲. 中国分省份市场化指数报告[M]. 北京：社会科学文献出版社，2021.
[36] 解学梅，朱琪玮. 企业绿色创新实践如何破解“和谐共生”难题？[J]. 管理世界，2021，37(1)：128-149.

Impact of Digital Intelligence on the High-quality Development of Manufacturing Industry in Yangtze River Economic Belt

XIONG Yunbiao，LI Mengxia
(School of Economics and Management，YunnanMinzu University，Kunming 650500，China)

Abstract：The high-quality development of manufacturing enterprises in the new era serves as a crucial strategic component in advancing China's manufacturing powerhouse initiative. Panel data from 11 provinces in the Yangtze River Economic Belt (2013—2023) was analyzed to examine how digital intelligence impacts manufacturing quality and its underlying mechanisms. The findings demonstrate that digital intelligence effectively drives high-quality development in the region's manufacturing sector，with human capital exerting a positive moderating effect. Mechanistic analysis reveals that as technological innovation progresses，digital intelligence exhibits nonlinear characteristics of increasing marginal returns on manufacturing quality enhancement. Policy recommendations are proposed to inform strategies for achieving sustainable growth in the Yangtze River Economic Belt's manufacturing industry.

Keywords：digital intelligence；high-quality development of manufacturing industry；technological innovation；human capital