

智能制造对制造业高质量发展的影响研究

——来自成渝地区双城经济圈的证据

白 蓝

西南大学经济管理学院, 重庆

收稿日期: 2024年2月26日; 录用日期: 2024年3月13日; 发布日期: 2024年5月21日

摘 要

新时代下, 智能制造作为推动制造业高质量发展的重要途径具有一定的研究价值。本文在搭建智能制造与制造业高质量发展的理论框架基础上, 搭建了智能制造综合指标和制造业高质量发展指标, 利用2011~2020年成渝地区双城经济圈的16个城市数据, 探讨了智能制造影响制造业高质量发展的效应以及其作用机制。研究结果显示: 智能制造能够显著地正向促进制造业高质量发展, 这一结论在稳健性检验后仍然成立。作用机制分析结果显示: 科技创新提高和人力资本水平提升在智能制造驱动制造业高质量发展过程中具有显著的中介效应; 要素禀赋结构优化在智能制造驱动制造业高质量发展中存在一定的门槛效应。本文的研究结论可以为成渝地区智能制造驱动制造业高质量发展提供一定政策参考。

关键词

成渝地区双城经济圈, 智能制造, 制造业高质量发展, 中介效应, 门槛效应

Research on the Impact of Intelligent Manufacturing on the High-Quality Development of Manufacturing Industry

—Evidence from the Chengdu-Chongqing Twin Cities Economic Circle

Lan Bai

School of Economics and Management, Southwest University, Chongqing

文章引用: 白蓝. 智能制造对制造业高质量发展的影响研究[J]. 金融, 2024, 14(3): 896-907.

DOI: 10.12677/fin.2024.143095

Abstract

In the new era, intelligent manufacturing has certain research value as an important way to promote the high-quality development of manufacturing industry. Based on the theoretical framework of intelligent manufacturing and high-quality development of manufacturing industry, this paper builds a comprehensive index of intelligent manufacturing and an index of high-quality development of manufacturing industry, and utilizes the data of 16 cities in Chengdu-Chongqing Twin Cities Economic Circle from 2011 to 2020 to explore the effect of intelligent manufacturing affecting the high-quality development of manufacturing industry as well as its mechanism of action. The results of the study show that intelligent manufacturing can significantly and positively promote the high-quality development of manufacturing industry, and this conclusion still holds after the robustness test. The analysis of the mechanism of action shows that the improvement of scientific and technological innovation and the enhancement of the level of human capital have a significant mediating effect in the process of high-quality development of the manufacturing industry driven by intelligent manufacturing; the optimization of the structure of the factor endowment has a certain threshold effect on the high-quality development of the manufacturing industry driven by intelligent manufacturing. The findings of this paper can provide certain policy references for the high-quality development of intelligent manufacturing in Chengdu-Chongqing region.

Keywords

Chengdu-Chongqing Twin Cities Economic Circle, Intelligent Manufacturing, High-Quality Development of Manufacturing Industry, Mediating Effect, Threshold Effect

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

经过几十年的高速发展，我国已经成为了世界第一制造大国，构建了全球最完备的工业体系，但当前我国制造业面临着“大而不强、全而不优”的难题[1]。党的二十大报告提出，“推动制造业高端化、智能化、绿色化发展”。智能制造作为当前数字技术应用的重要载体，一方面能够推动传统制造业转型升级，另一方面也能够带动 3D 打印、工业软件等新兴产业发展，因而智能制造是赋能制造业高质量发展的重要方式。

成渝地区双城经济圈位于一带一路倡议和长江经济带的交汇处，是新时代西部大开发的重要基地，同时成渝地区作为中国制造“第四极”，其制造业内部产业具有其独特优势，《成渝地区双城经济圈建设规划纲要》指出要打造在成渝地区培育先进制造业集群，深入推动国家战略性新兴产业集群发展。因此以成渝地区双城经济圈为研究对象，从制造业高质量发展视角，深入分析智能制造在促进制造业发展进程中的作用机理和影响机制，以期对制造业智能化转型和制造业提质增效提供一定的理论意义和政策参考。

2. 文献述评

学界对于制造业高质量发展的研究已颇为丰富，梳理制造业高质量发展的研究脉络可以将学术成果

分为三个维度，一是数字经济时代下的制造业高质量发展的实现路径，在微观层面上聚焦于数字化驱动制造业升级的现实困境，推动数字基础设施建设、促进制造企业“数实融合”等[2]；同时也有站在省际层面对地区制造业高质量发展提出更具针对性的发展路径，如增加传统制造业的创新投入，加快发展服务型制造业等。在宏观层面上从制造业高质量发展内涵出发在供给侧改革、数字经济、融合发展等六个方面提出了制造业高质量发展的主要路径[3]；还有学者强调了智能制造在制造业高质量发展的重要位置，突出强调智能制造作为新一轮工业革命的承载形式，能够从更深层次赋能制造业高质量发展[4]。二是制造业高质量发展的影响因素分析和水平测度，现有文献主要探讨了人工智能[5]、数字技术[6]、数字经济[7]等对制造业高质量发展的影响，整体上来制造业高质量发展总体呈现出逐步上升的趋势，并且相对于中低端制造业，高端制造业的发展对经济的发展转型具有更强的带动作用，从区域层面来看，制造业高质量发展水平存在一定差距[8][9]，但不同区域均面临着相似的问题；从企业层面来看，产业数字化通过研发资本投入和企业人才投入赋能企业数字化转型，从而实现制造业高质量发展。三是制造业高质量发展的评价体系构建，绝大部分的制造业高质量发展指标体系的搭建是以五大发展理念为指引，从经济效益、科技水平、产业协调发展和绿色发展维度进行测量，分别在区域和企业层面构建制造业高质量发展评价体系。在区域层面，制造业高质量发展的评价既有以制造业绿色全要素生产率为代表的单一指标，也有从多种维度评价的综合指标。在企业层面，大多数的评价以企业的数字化转型程度来衡量企业的制造业高质量发展水平[10]。

智能制造作为一种新兴概念，对于该方面的研究还相对较少，从概念上来讲，智能制造工业概念衍生为经济概念，其从技术创新、制造范式变革到作为制造业转型升级的战略方向，其内涵在不断地加深。学界目前对智能制造主要集中在智能制造的水平测度和智能制造对经济增长的影响两方面。在智能制造水平测度方面，当前国外并没有针对地区的智能制造评价体系，研究内容主要在对制造企业智能化水平的评分构建以及水平评价[11]，也有从产业融合角度来衡量制造业智能水平[12]。国内就智能制造水平测度的相关文献较多，既有以单一指标衡量智能水平，也有从企业[13]、行业[14]和区域层面[15]对搭建综合指标评价体系。在智能制造的影响机制方面，智能制造会以机器设备为载体通过替代和创造就业岗位影响劳动收入分配[16][17]，并且智能制造会在一定程度上影响产业结构升级，特别是由于制造业内部产品替代弹性较大，因此智能设备的应用在制造业内部的比重会扩大[18]。智能制造对全要素生产率的影响有两种声音，一种是认为智能制造能够通过促进技术进步进而全要素生产率的增长[19]，另一种认为由于技术开发[20]和自动化的过度使用[21]等因素抑制全要素生产率的增长。

有关制造业高质量发展和智能制造的研究成果已十分丰硕，但还是存在一定的不足和空白。首先，当前对制造业智能化的研究大多数仍在数字技术层面，而智能制造作为制造业高质量发展的重要影响因素的研究成果却想读较少。其次，现有智能制造的衡量主要集中在省际层面且衡量方式并不统一，缺少从城市层面特别是针对不同城市群层面的深入分析。

3. 理论分析与研究假设

制造业作为成渝地区经济可持续发展的支柱，其增长规模、数字化程度和智能化水平等对成渝地区的制造业高质量发展起着重要作用，智能制造作为制造业高质量发展的主攻方向，能够全面嵌入制造业的生产发展：智能制造通过开展工艺改进和革新，推动设备联网和生产数字化连接，并实现对制造全过程开展智能化升级，提高精准预测能力和自主决策能力，在供应链层面上，智能制造提高先进制造业、新兴产业的协作能力，打造生产深度协同的供应链。因此智能制造会影响从企业到行业再到区域的制造业发展水平[5]，除此之外，智能制造的应用和深化也会影响外部环境，能够通过优化资源利用[22]、降低污染排放推动绿色创新[23]、能够通过机器学习技术进步等提升劳动生产率[13]、通过提升技术水平优

化产业结构[18]助力制造业提质增效和转型升级。基于此，本文提出如下假设：

假设 1：智能制造能够提高制造业高质量发展水平。

科技创新是引领发展的第一动力，也是制造业高质量发展的主导力量。数字经济时代下，数字技术已经成为了驱动经济增长的核心要素。智能制造作为数字技术的主要应用场景，能够助力企业实现颠覆性创新[23]，改变技术进步偏向[24]进而促进科技创新水平的提升。制造业作为科技创新的主战场，能够从多方面影响制造业高质量发展，一是科技创新能够提高全要素生产率：科技创新带来数据这一新型生产要素，具有边际成本低、流动性高的优点，其生产效率远远高于传统生产要素。并且成渝地区作为我国重要的制造业集群，专业分工程度加深、产业链上下游企业协同分工所带来的技术溢出会进一步提高科技创新水平，提高全要素生产率[25]。二是科技创新能够助力新产业的发展，科技创新会促进传统制造业向先进制造业转型，同时有助于培育新兴产业和未来产业，进一步提高技术密集型产业占比，提高制造业数字化、智能化水平。基于此，本文提出如下假设：

假设 2：智能制造能够促进科技创新水平提高进而提升制造业高质量发展水平。

人力资本使制造业发展的重要支撑，制造业高质量发展离不开高质量企业，而高质量企业的发展离不开高素质人才。随着制造业的智能制造水平不断提升，知识密集型和劳动密集型制造业产业的比重会扩大，因此会加大制造业企业对高技术人才的需求，为了适应劳动力市场需求，劳动者会提高自身知识水平和技术水平从而促进了人力资本整体素质的提升[26]。同时数字技术的应用能够有效提升各个主体间的协同性，缓解信息不对称问题，会减少劳动者的学习成本，增加学习机会，促使高素质劳动者比重不断增加，并且随着高素质劳动者投入量的增加，会促进新知识、新技术进行转化与应用，高级产出比重也会不断增加，实现制造业向智能化、数字化转型，从而促进制造业高质量发展。基于此，本文提出如下假设：

假设 3：智能制造能够促进人力资本水平升级进而提高制造业高质量发展水平。

要素禀赋结构是资本要素和劳动要素之间比重的反映，是制造业发展的重要基础。近年来随着产业由劳动密集型产业向资本和技术密集型产业转变，使得要素禀赋结构有所提升。从劳动要素视角来看，智能制造作为新一代信息技术与先进制造业技术的深度融合，能够创造虚拟劳动力来替代简单重复常规的工作，减少对传统劳动力的依赖，增强资本要素对劳动要素的替代作用[5]。从资本要素视角来看，随着智能制造技术和应用的不断进步，企业为了提高产品产量和质量，稳定或提升市场竞争能力，会不断的投入资本要素来更新生产设备，以符合智能制造的需求[26]。但相对于劳动要素而言资本要素属于稀缺要素，在智能制造水平不断提升的过程当中，要以一定水平的资本存量为基础以实现生产设备的更新迭代，如果资本要素比重较低，则大规模的生产设备智能化更新的基础较弱，制造业智能化难以大规模实现，对制造业高质量发展的促进作用较低。当资本要素比重在一定水平之上时，即在保证较高水平资本存量的前提下，通过生产设备的更新迭代实现智能基础设施建设，智能生产设备应用等，进而提高生产效率，降低生产成本，实现制造业高质量发展。基于此，本文提出如下假说：

假设 4：要素禀赋结构在一定水平以下，智能制造对制造业高质量发展的促进作用较低，要素禀赋结构在一定水平以上，智能制造对制造业高质量发展的促进作用更为明显。

4. 研究设计

4.1. 模型设定

针对假设 1，对智能制造对制造业高质量发展的影响进行实证分析，基准模型设置如下：

$$manu_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 im_{it} + \sum \pi_i x_{it} + \eta_{it} \quad (1)$$

在模型(1)中, $manu_{it}$ 为被解释变量, 表示城市 i 在 t 时刻制造业高质量发展水平; im_{it} 为解释变量, 表示城市 i 在 t 时刻智能制造发展水平; x_{it} 表示一系列控制变量; ε_{it} 是随机扰动项。

基于前文关于中介效应的理论分析, 本文根据智能制造对制造业高质量发展可能存在的影响路径, 对人力资本和要素禀赋结构是否为二者之间的中介变量进行检验。根据江艇[27]的研究成果, 构建如下模型:

$$med_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 im_{it} + \sum \pi_i x_{it} + \eta_{it} \tag{2}$$

在模型(2)中, med_{it} 为中介变量, 包括人力资本(*human*)和科技创新(*tech*); π_i 表示为控制变量的系数; γ_1 表示智能制造水平对中介变量的影响效应; η_{it} 是随机扰动项。

针对假设(4), 为了检验智能制造的过度建设是否会降低要素禀赋结构对制造业高质量发展的提升作用, 借鉴 Hansen [28]的研究, 构建如下计量模型:

$$manu_{it} = \theta_0 + \theta_1 im_{it} \cdot I(kl_{it} < \varpi) + \theta_3 im_{it} \cdot I(kl_{it} \geq \varpi) + \sum \pi_i x_{it} + \eta_{it} \tag{3}$$

模型(3)为但门槛模型, 其中 kl_{it} 表示要素禀赋结构这一门槛变量; $I(\cdot)$ 表示指标函数, 其取值为 1 或 0; θ_1 代表待估的门槛值; 其他变量定义不变。

4.2. 数据来源

成渝地区双城经济圈共包含 16 个城市(重庆、成都、自贡、泸州、德阳、绵阳、遂宁、乐山、南充、眉山、宜宾、广安、达州、雅安、资阳), 以该 16 个城市为研究对象, 鉴于数据可得性设定研究区间为 2011~2020 年, 所用数据主要来自于相应年份的《重庆市统计年鉴》《四川省统计年鉴》和相应地级市统计年鉴与统计公报。

4.3. 指标定义

1) 被解释变量: 制造业高质量发展水平(*manu*)。本文借鉴谢伟丽等[5]的做法, 结合成渝地区双城经济圈的数据可得性, 从产业效益、技术创新和绿色发展三个方面构建综合指标体系衡量成渝地区制造业水平, 运用熵权法计算出三级指标的得分和权重, 得到综合发展水平分数。具体评价指标如表 1 所示:

Table 1. Evaluation system of high-quality development level of manufacturing industry
表 1. 制造业高质量发展水平评价体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标属性
制造业高质量发展水平	产业效益	工业生产总产值占比	正向
		制造业就业人数占比	正向
		工业总产值/工业就业人数	正向
		规模以上工业企业利润总额/营业收入	正向
	技术创新	R&D 内部经费支出/营业收入	正向
		每万人专利授权量	正向
		每万人有效发明专利数	正向
	绿色发展	一般工业固体废物综合利用率(%)	正向
		二氧化硫排放量/工业总产值	负向
		工业废水排放量/工业总产值	负向

2) 核心解释变量：智能制造水平(im_{it})。现有研究对于智能制造指标的构建较少。本文借鉴王林辉等[17]、杨浩昌等[29]等人的研究成果，结合《工业大数据白皮书(2019版)》和《十四五智能制造发展规划》的相关内容，从智能基础和智能应用两方面进行衡量，结合数据可得性，选取了八个三级指标，涵盖数字基础设施、工业机器人应用等，其中工业机器人安装密度的数据来源为国际机器人联合会(IFR) 2011~2019年的数据，具体做法参考许健等[30]的做法，将IFR数据的行业分类与中国的行业分类相匹配，再将计算出各个行业的机器人密度的权重并匹配到相应城市。其中，对于缺失的2020年数据用插值法补充。智能制造水平同样采用熵权法得到综合评分来表示，具体如表2所示。

Table 2. Smart manufacturing indicator system

表 2. 智能制造指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标属性
智能制造水平	智能基础	信息传输、计算机服务和软件业固定资产投资额占GDP比重	正向
		信息传输、计算机服务和软件业从业人员占就业人员比重	正向
		互联网普及率	正向
		人均电信业务量	正向
	智能应用	规模以上计算机、通信和其他电子设备制造业个数	正向
		规模以上计算机、通信和其他电子设备制造业人均营业收入	正向
		工业机器人安装密度	正向
		工业机器人存量	正向

3) 中介变量和门槛变量：依据前文理论分析，本文选取科技创新和人力资本两个中介变量，以及要素禀赋结构作为门槛变量。其中，科技创新的发展需要一定水平的资金为基础，以此来促进科技成果的落地和转化，因此选择政府科技创新的预算支出来衡量科技创新水平；人力资本质量的提升要求有高水平的劳动人才来促进产业结构优化提升，因此选择科学研究、技术服务就业人数来衡量创新型人力资本；要素禀赋结构通常选用资本存量和就业人员的比重来衡量。本文参考徐永慧等[31]的研究，结合各城市的固定资产投资数据，使用永续盘存法，以2010年为基期计算相应年份的折旧率，剔除价格因素后的固定资本存量，地区从业人员以全社会从业人员总数衡量。

4) 控制变量：为了更加全面地分析成渝地区双城经济圈制造业高质量发展当中智能制造发挥的作用，本文选取如下控制变量：城市化水平(urb)以人口密度来表示，具体处理方法为年末人口总数与行政区域面积的比值并采取其对数来表示；外商投资水平(fdi)以当年实际利用外资额的对数值表示；教育水平(edu)采用教育支出占地方财政一般预算内支出的比重来表示；外贸依存度($trade$)用贸易进出口总额占GDP的比重来表示。

4.4. 描述性统计

各变量相关描述性统计结果如表3所示。制造业高质量发展的均值为0.228，表明成渝地区各城市的制造业高质量发展水平整体水平较低，制造业发展有待提高，标准差为0.228。表明成渝地区16个城市之间的制造业发展差距较小。智能制造的均值为0.0947，说明智能制造水平还处在起步阶段，有较大的发展空间，标准差为0.0960，说明成渝地区的智能制造水平整体发展较为同步，没有出现明显的地区差异。

Table 3. Descriptive statistics of variables
表 3. 变量描述性统计

变量名称	变量符号	样本数	均值	标准差	最小值	最大值
制造业高质量发展	<i>manu</i>	160	0.2278	0.1314	0.0817	0.7771
智能制造	<i>im</i>	160	0.0947	0.0960	0.0073	0.6738
科技创新	<i>tech</i>	160	0.0843	0.1904	0.0039	1.0964
人力资本	<i>human</i>	160	0.2523	0.4656	0.0090	1.8560
要素禀赋结构	<i>kl</i>	160	36.9310	14.9795	16.8273	139.7914
城镇化水平	<i>urb</i>	160	6.0305	0.5372	4.5538	7.2868
外商投资水平	<i>fdi</i>	160	9.3819	1.8698	6.2146	14.0907
教育水平	<i>edu</i>	160	0.1702	0.0298	0.0436	0.2413
外贸依存度	<i>trade</i>	160	0.0705	0.0923	0.0027	0.4025

5. 实证结果与分析

5.1. 基准回归

在进行计量回归之前，本文对变量的相关系数以及平稳性进行检验，检验结果见表 4。结果表明大部分变量之间的相关系数小于 0.5，可以判断模型不存在严重的多重共线问题，但本文依然在基准回归中采用逐步回归的方法，尽可能避免多重共线对回归结果的影响。

Table 4. Correlation coefficient matrix and unit root test
表 4. 相关系数矩阵与单位根检验

	<i>manu</i>	<i>im</i>	<i>fdi</i>	<i>urb</i>	<i>edu</i>	<i>trade</i>
<i>manu</i>	1.000					
<i>im</i>	0.3104 ^{***}	1.000				
<i>fdi</i>	0.5885 ^{***}	0.0954	1.000			
<i>urb</i>	0.1983 ^{**}	0.1824 ^{**}	0.3554 ^{***}	1.000		
<i>edu</i>	-0.3885 ^{**}	-0.1308 [*]	-0.2424 ^{*4**}	0.2758 ^{***}	1.000	
<i>trade</i>	0.6423 ^{***}	0.0893	0.8880 ^{***}	0.3726 ^{***}	-0.3058 ^{***}	1.000
VIF		1.10	4.79	1.53	1.40	5.25

注：***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著，下同。

本文采用普通最小二乘法(OLS)对模型(1)进行估计，回归结果见表 5。在表 5 中，列(1)是只包含智能制造水平核心解释变量的估计结果，智能制造对制造业高质量发展有显著的正向影响。从逐步加入控制变量的回归结果列(2)~列(4)来看，智能化水平对制造业高质量发展仍然有显著的正向促进作用，反映出在控制其他影响因素的条件下，智能制造仍然对制造业高质量发展有显著的正向促进作用。

Table 5. Benchmark regression results
表 5. 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>manu</i>	<i>manu</i>	<i>manu</i>	<i>manu</i>	<i>manu</i>
<i>im</i>	0.4250 ^{***} (0.1035)	0.3513 ^{***} (0.0842)	0.3631 ^{***} (0.0854)	0.3013 ^{***} (0.0834)	0.3223 ^{***} (0.0803)

续表

<i>fdi</i>		0.0397*** (0.0043)	0.0410*** (0.0046)	0.0341*** (0.0048)	0.0066 (0.0087)
<i>urb</i>			-0.0141 (0.0162)	0.0139 (0.0172)	0.0018 (0.0171)
<i>edu</i>				-1.1358*** (0.2964)	-0.8140*** (0.2975)
<i>trade</i>					0.6893*** (0.1843)
时间	no	no	no	no	no
地区	no	no	no	no	no
Cons	0.1876*** (0.0139)	-0.1776*** (0.0414)	-0.1067 (0.0917)	0.0112 (0.0913)	0.2361** (0.1099)
样本数	160	160	160	160	160
R ²	0.0964	0.4116	0.4145	0.4651	0.5097

注：括号内为标准误，下同。

5.2. 稳健性检验

上文实证研究了成渝地区对制造业高质量发展有显著的促进作用，为了保证实证结果的稳健性以及可能存在的内生性问题，本文采用以下三种方法进行检验。(1) 将被解释变量替换为样本地区的第二产业增加值(*ind*)并进行对数化处理，以此来检验实证结果的稳健性。(2) 采用双向固定模型缓解因为可能存在一些不可观察的遗漏变量同时影响智能制造水平和制造业高质量发展水平。(3) 智能制造水平和制造业高质量发展水平之间可能存在着逆向因果关系而造成联立性偏误。为缓解联立性偏误问题，本文采用成渝双城经济圈各城市到中心城市成都和重庆的平均距离与年份的交互项作为工具变量(*ad*)以缓解可能存在的逆向因果关系，选择该工具变量的原因在于成都和重庆作为大型城市，二者的经济发展水平和制造业发展水平都远大于其他经济圈的其他城市，其他城市与成都和重庆的距离越近，则对其带动作用就越强，具体运用的方法为两阶段最小二乘法(2SLS)进行估计。回归结果见表6。

由表6列(1)和列(2)可知，将被解释变量替换为第二产业增加值(*ind*)后，核心解释变量智能制造仍在1%的水平上显著为正；且在控制时间和地区的情况下，智能制造对制造业高质量发展的促进作用仍然显著。说明成渝地区智能制造促进制造业高质量发展这一结论是稳健的。从列(3)可知，在使用了工具变量估计之后，成渝地区智能制造促进制造业高质量发展的效应仍然成立。

Table 6. Robustness test and endogeneity test

表 6. 稳健性检验及内生性检验

	(1)	(2)	(3)	
	<i>ind</i>	<i>manu</i>	面板 2SLS	
			<i>firststep</i>	<i>IV</i>
<i>im</i>	0.6389*** (0.1645)	0.1635*** (0.0595)		0.7522** (0.2741)
<i>ad</i>			-0.0001*** (0.0003)	

续表

控制变量	yes	yes	yes	yes
时间	no	yes	yes	yes
地区	no	yes	yes	yes
样本数	160	160	160	160
R ²	0.9145	0.9341		
Anderson canon. corr. LM statistic				23.41 ^{***}
Cragg-Donald Wald F statistic				18.36 ^{***}
Anderson-Rubin Wald test				13.68 ^{***}

5.3. 中介效应检验

根据前文的理论分析可知, 智能制造还可以通过提高科技创新水平和提升人力资本水平助推制造业高质量发展水平。因此本文对科技创新和人力资本进行中介效应分析。表 7 报告了中介效应的回归结果。结果显示, 科技创新是智能制造影响制造业发展的中介变量, 智能制造能够通过促进科技创新推动制造业高质量发展; 智能制造对科技创新、智能制造和科技创新对制造业高质量发展的回归系数均在 1% 的水平上显著为正, 说明人力资本也是智能制造影响制造业高质量发展的路径之一。假设 2 和假设 3 得到验证。

Table 7. Regression results of mediating mechanism test

表 7. 中介机制检验回归结果

	(1)	(2)	(3)
	<i>manu</i>	<i>tech</i>	<i>human</i>
<i>im</i>	0.1635 ^{***} (0.0595)	0.4768 ^{***} (0.1758)	0.4444 ^{***} (0.1571)
控制变量	yes	yes	yes
时间	yes	yes	yes
地区	yes	yes	yes
Cons	-3.220 ^{***} (-5.24)	-7.1548 ^{***} (1.9986)	-8.5921 ^{***} (1.6490)
样本数	160	160	160
R ²	0.9145	0.8361	0.9671

5.4. 门槛效应检验

经过前文验证得出人力资本水平和科技创新水平的中介作用, 智能制造能够通过该路径促进制造业高质量发展。基于此, 本文选取要素禀赋结构作为门槛变量, 进一步探究要素禀赋结构是否存在非线性关系。首先, 确定门槛效应是否存在, 检验结构如表 8 所示。从表中可以看出, 当采用“自助法”反复抽样 1000 此后, 要素禀赋结构的单一门槛的 P 值为 0, 在 1% 的水平上显著, 单一门槛检验显著, 而双重门槛和三重门槛检验不显著。因此, 仅存在单一门槛, 具体结果如表 9 所示。

Table 8. Threshold effect test results
表 8. 门槛效应检验结果

模型	F 值	P 值	10%临界值	5%临界值	1%临界值	BS 次数
单一门槛	51.29	0.0160	22.0439	29.5381	61.2607	1000
双重门槛	6.09	0.7010	26.9776	35.0153	56.4019	1000
三重门槛	3.51	0.6740	21.7364	25.7313	37.3930	1000

由表 9 可知, 当要素禀赋结构水平 ≤ 32.6567 时, 智能制造对制造业高质量发展的系数为, 通过了 5% 的显著性检验; 当要素禀赋结构 > 32.6567 时, 智能制造对制造业高质量发展的系数为, 通过了 5% 的显著性检验。可见, 当要素禀赋结构水平低于门槛值时, 智能制造对制造业高质量发展的促进作用更明显。可能的原因是当要素禀赋结构在一定范围内, 智能制造能够通过替代一部分传统劳动力, 提高生产效率, 从而促进制造业高质量发展。而当要素禀赋结构超过门槛值时, 智能制造的过度应用反而抑制了制造业高质量发展。假说 4 得到验证。

Table 9. Results of regression analysis of thresholds
表 9. 门槛回归分析结果

变量	<i>im</i>
门槛值	32.6567
$kl \leq 32.6567$	0.4634*** (0.1566)
$kl > 32.6567$	0.6706*** (0.1866)
控制变量	yes
时间	yes
地区	yes
Cons	-2.6749**
样本数	160
R^2	0.5185

6. 结论与启示

本文基于 2011~2020 年成渝地区双城经济圈 16 个城市层面的数据, 搭建了智能制造指标, 并测算了智能制造水平和制造业高质量发展指数, 在此基础上多维度实证检验了智能制造对制造业高质量发展的影响以及作用机制。主要结论如下: 第一, 智能制造能显著地促进成渝地区双城经济圈的制造业高质量发展, 通过更换被解释变量和引入工具变量等稳健性检验, 该结论仍然成立。第二, 除直接效应外, 科技创新和人力资本的中介作用都得到了验证, 表明智能制造发展能够通过提升科技创新水平和人力资本水平促进制造业高质量发展, 即科技创新和人力资本都是智能制造提升制造业高质量发展的重要传导路径之一。第四, 要素禀赋结构水平是智能制造促进制造业高质量发展的影响因素之一, 要素禀赋结构较高时, 智能制造对制造业高质量发展的作用才更为显著。

基于以上结论, 为实现成渝地区双城经济圈的制造业高质量发展, 有效发挥智能制造的驱动作用, 本文得出如下政策启示:

第一, 加快成渝地区智能制造水平升级, 推动制造业高质量发展。新时代下, 制造业智能化发展是

制造业转型升级的必然要求。成渝地区依托电子信息、装备制造等产业优势，具有良好的发展基础。成渝地区应当顺应新时代发展，深入推进制造业智能化发展，提高智能制造投入水平和应用水平，助力成渝地区制造业水平的提质增效。

第二，重视科技创新的投入和高素质人才的培养。成渝地区应当加快发展“创新驱动战略”，赋能制造业转型升级，以科技创新为引领，实现传统制造业转型，发展先进制造业，为成渝地区制造业高质量发展打造新引擎。同时，成渝地区应当加大对高素质创新型人才的培养，充分发挥人才作为第一资源的支撑作用，构建与制造业发展相匹配的人才培养模式，营造富有活力的人才生态，夯实制造业高质量发展基础。

第三，完善资本市场支撑环境，提高资本投入水平。数字基础设施是智能制造应用的必要基础，成渝地区应当加大资本投入力度，不断完善数字基础设施建设，提高智能制造基础水平。提高生产要素质量，推动数字技术赋能传统生产要素转型升级，推动数字要素的赋能作用，加强数字要素与传统要素相融合，提升智能制造水平。

参考文献

- [1] 吕越, 谷玮, 包群. 人工智能与中国企业参与全球价值链分工[J]. 中国工业经济, 2020(5): 80-98.
- [2] 季小妹, 方雨豪, 赵西君, 等. 中国式现代化背景下制造业高质量发展潜力和路径研究: 以山东省制造业为例[J]. 中国软科学, 2024(S1): 223-230.
- [3] 郭克莎, 田潇潇. 加快构建新发展格局与制造业转型升级路径[J]. 中国工业经济, 2021(11): 44-58.
- [4] 刘建丽, 李娇. 智能制造: 概念演化、体系解构与高质量发展[J/OL]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1012.F.20240304.1024.002.html>, 2024-03-13.
- [5] 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.
- [6] 黄勃, 李海彤, 刘俊岐, 等. 数字技术创新与中国企业高质量发展——来自企业数字专利的证据[J]. 经济研究, 2023, 58(3): 97-115.
- [7] 刘鑫鑫, 惠宁. 数字经济对中国制造业高质量发展的影响研究[J]. 经济体制改革, 2021(5): 92-98.
- [8] 曲立, 王璐, 季桓永. 中国区域制造业高质量发展测度分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(9): 45-61.
- [9] 汪芳, 石鑫. 中国制造业高质量发展水平的测度及影响因素研究[J]. 中国软科学, 2022(2): 22-31.
- [10] 李秋香, 马草原, 齐二石, 等. 中国制造业高质量发展研究: 脉络、争鸣与盲区[J]. 科学学与科学技术管理, 2022, 43(9): 125-145.
- [11] Flatt, H., Schriegel, S., Jasperneite, J., et al. (2016) Analysis of the Cyber-Security of Industry 4.0 Technologies Based on RAMI 4.0 and Identification of Requirements. 2016 *IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Berlin, 6-9 September 2016, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2016.7733634>
- [12] Frank, A.G., Mendes, G.H.S., Ayala, N.F., et al. (2019) Servitization and Industry 4.0 Convergence in the Digital Transformation of Product Firms: A Business Model Innovation Perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 141, 341-351. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.014>
- [13] 张化尧, 倪悦雨, 蔡方中. 美国“脱钩”政策对我国智能制造的影响研究[J/OL]. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20230718.001>, 2023-11-29.
- [14] 张优智, 乔宇鹤. 不同类型环境规制对制造业绿色全要素生产率的影响效应研究——基于 DEA-Malmquist 指数法与空间误差模型的实证分析[J]. 生态经济, 2022, 38(5): 177-182.
- [15] 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.
- [16] Furman, J. and Seamans, R. (2019) AI and the Economy. *Innovation Policy and the Economy*, 19, 161-191. <https://doi.org/10.1086/699936>
- [17] 王林辉, 胡晟明, 董直庆. 人工智能技术会诱致劳动收入不平等吗——模型推演与分类评估[J]. 中国工业经济, 2020(4): 97-115.
- [18] 郭凯明. 人工智能发展、产业结构转型升级与劳动收入份额变动[J]. 管理世界, 2019, 35(7): 60-77+202-203.

- [19] 李廉水, 鲍怡发, 刘军. 智能化对中国制造业全要素生产率的影响研究[J]. 科学学研究, 2020, 38(4): 609-618+722.
- [20] 叶祥松, 刘敬. 异质性研发、政府支持与中国科技创新困境[J]. 经济研究, 2018, 53(9): 116-132.
- [21] Acemoglu, D. and Restrepo, P. (2018) Artificial Intelligence, Automation, and Work. In: Agrawal, A., Gans, J. and Goldfarb, A., Eds., *the Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*, University of Chicago Press, Chicago, 197-236. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226613475.003.0008>
- [22] 王琳, 周昕怡, 陈梦媛. 从“培育者”到“影响者”: 数字化转型如何推动绿色创新发展: 基于浪潮的纵向案例研究[J]. 中国软科学, 2023(10): 146-163.
- [23] 孟凡生, 赵艳. 智能化发展与颠覆性创新[J]. 科学学研究, 2022, 40(11): 2077-2092.
- [24] 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, 32(4): 1-11.
- [25] 杨浩昌, 李廉水, 张发明. 制造业集聚对创新生产率的影响及区域比较[J]. 科学学研究, 2020, 38(1): 63-75.
- [26] 戴翔, 杨双至. 数字赋能、数字投入来源与制造业绿色化转型[J]. 中国工业经济, 2022(9): 83-101.
- [27] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120.
- [28] Hansen, B.E. (1999) Threshold Effects in Non-Dynamic Panels: Estimation, Testing, and Inference. *Journal of Econometrics*, **93**, 345-368. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(99\)00025-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(99)00025-1)
- [29] 杨浩昌, 罗雨成, 李廉水. 智能制造对制造业高质量发展的影响研究——基于“量”与“质”的视角[J/OL]. 科学学研究: 1-15. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20230906.001>, 2024-05-16.
- [30] 许健, 季康先, 刘晓亭, 等. 工业机器人应用、性别工资差距与共同富裕[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(9): 134-156.
- [31] 徐永慧, 赵燕, 邓格致. 资本有机构成深化与绿色全要素生产率增长: 基于 2004-2019 年中国地级及以上城市的实证研究[J]. 南方经济, 2023(6): 122-141.