



No. 2509

Working Paper

工业机器人与新质生产力： 效率改善还是产品创新

何青 陈东尧 刘尔卓

【摘要】 加快建设现代化产业体系、提升智能制造水平，是培育和发展新质生产力的关键要求。通过实证检验，系统分析了制造业企业工业机器人应用对新质生产力发展的经济影响。研究发现，工业机器人的应用有助于推动新质生产力的发展，并显著提升了企业的销售收入和股票市值。异质性分析表明，该效应在大型企业、市场化程度较高地区的企业和非国有企业中表现更为显著。通过借助 BERT 大语言模型构建企业层面“效率改善水平”与“产品创新水平”两类指标，发现工业机器人应用通过产品创新和效率改善两种机制促进了新质生产力的培育和发展。这两种机制之间存在交互作用：当企业产品创新水平较高时，工业机器人应用更有助于推动效率提升；而在企业效率显著改善的前提下，其对产品创新的促进作用也更加显著。为了进一步推动制造业转型升级，我国需要加强工业机器人的推广应用，特别是加强工业机器人对于中小企业生产经营的支持力度，同时加大力度培育工业机器人赋能企业进行产品创新的能力，并进一步提升企业效率水平。

【关键词】 工业机器人；新质生产力；效率改善；产品创新；BERT 语言模型

【文章编号】 IMI Working Papers No.2509



微博·Weibo



微信·WeChat

更多精彩内容请登陆 国际货币网

<http://www.imi.org.cn/>

1937

工业机器人与新质生产力：效率改善还是产品创新

何青¹ 陈东尧² 刘尔卓³

【摘要】加快建设现代化产业体系、提升智能制造水平，是培育和发展新质生产力的关键要求。通过实证检验，系统分析了制造业企业工业机器人应用对新质生产力发展的经济影响。研究发现，工业机器人的应用有助于推动新质生产力的发展，并显著提升了企业的销售收入和股票市值。异质性分析表明，该效应在大型企业、市场化程度较高地区的企业和非国有企业中表现更为显著。通过借助 BERT 大语言模型构建企业层面“效率改善水平”与“产品创新水平”两类指标，发现工业机器人应用通过产品创新和效率改善两种机制促进了新质生产力的培育和发展。这两种机制之间存在交互作用：当企业产品创新水平较高时，工业机器人应用更有助于推动效率提升；而在企业效率显著改善的前提下，其对产品创新的促进作用也更加显著。为了进一步推动制造业转型升级，我国需要加强工业机器人的推广应用，特别是加强工业机器人对于中小企业生产经营的支持力度，同时加大力度培育工业机器人赋能企业进行产品创新的能力，并进一步提升企业效率水平。

【关键词】工业机器人；新质生产力；效率改善；产品创新；BERT 语言模型

一、引言

党的二十届三中全会强调，健全因地制宜发展新质生产力体制机制。加快形成同新质生产力更相适应的生产关系，促进各类先进生产要素向发展新质生产力集聚，大幅提升全要素生产率。当前，探索培育和发展新质生产力的具体路径是落实政策要求的当务之急和应有之义。2025 年政府工作报告指出，要“因地制宜发展新质生产力，加快建设现代化产业体系。推动科技创新和产业创新融合发展，大力推进新型工业化，做大做强先进制造业，积极发展现代服务业，促进新动能积厚成势、传统动能焕新升级。”当前，通过发挥新型举国体制优势和集中投入，我国不断突破“卡脖子”问题，有效破解高端制造锁喉困境。同时，我国传统产业改造升级力度持续加大，人工智能、数字经济与实体经济融合进一步推进，催生了众多新业态、新模式。作为制造业的重要组成部分，依托创新驱动的工业机

¹ 何青，中国人民大学国际货币研究所特约研究员，中国人民大学财政金融学院教授、博士生导师，中国人民大学国家金融研究院副院长；

² 陈东尧，中国人民大学财政金融学院硕士研究生；

³ 刘尔卓（通讯作者），首都经济贸易大学财政税务学院讲师。

机器人产业正处于快速发展阶段。凭借其高效、高质量的作业能力，工业机器人在制造环节中发挥着日益重要的作用。通过与成形机床的集成应用，工业机器人有效提升了加工效率与生产安全性，并增强了加工精度，为高质量产品的生产提供了有力保障。工业机器人对企业生产经营的赋能与新质生产力所强调的高科技、高效能与高质量特征高度契合。

加速培育和发展新质生产力是我国在新形势下推动高质量发展，加快实现新旧动能转换的关键任务。随着工业机器人使用越来越普及，我们有必要厘清在制造业行业中工业机器人的应用是否以及如何能够有效促进新质生产力的培育和发展？然而，现有文献尚未对该问题展开明确探讨，更多集中于工业机器人应用的总体经济效应，以及工业自动化生产与企业整体创新行为之间的关系。既有研究表明：一方面，工业机器人作为一项重要的通用技术，可以依据既定的程序进行机械化流水线生产，赋予了生产过程更高的效能^[1]。另一方面，工业机器人还可以收集工业生产过程中的反馈数据，辅助研究人员进行工业机器人的性能改进和应用扩散，为后续的产品创新积累了重要的生产资料^[2]；同时，工业机器人也可精准地执行重复性的实验与测试任务，并主动收集数据以优化实验流程，有效节约了研发成本，降低了研发过程中的不确定性。此外，工业机器人的大规模应用将促使企业雇佣素质更高的专业化员工，这将有利于公司层面人力资本积累和研发创新，从而间接提升企业整体的全要素生产率^[3]。

为了回答上述问题，本文实证检验了工业机器人应用对企业新质生产力的影响和作用机制。研究可能的边际贡献包括：第一，基于中国上市公司的微观数据和省级面板数据，本文首次系统探讨了工业机器人使用对企业层面新质生产力的影响，并进一步分析了其影响的异质性特征及内在作用机制。这为明确未来工业机器人的发展方向、因地制宜培育和推动新质生产力的形成，进而服务于我国新发展格局的构建，提供了实证依据。第二，本文运用人工智能语言模型 BERT 对上市公司专利摘要文本进行分析，将专利划分为产品创新类和效率改善类两大类。同时，结合上市公司商标申请与授权数据，构建了反映企业产品创新水平与效率改善水平的微观测度指标。第三，在已有指标体系基础上，本文对工业机器人渗透度的测算方法进行了修正和完善，从而更准确地衡量公司层面的工业机器人使用情况，为相关后续研究提供了数据支持和方法参考。

二、理论分析与研究假设

工业机器人作为技术革命性突破的典型载体，能够有效推动制造业智能化转型升级，成为推动我国新质生产力发展和全要素生产率增长的重要路径。既有的跨国宏观数据表明，工业机器人的广泛应用在多个国家有效提升了全要素生产率增长率，进而推动了宏观经济发展，同时有助于提升新兴市场

国家在全球价值链中的地位。这种形式的增长高度契合高科技、高效能、高质量这三大新质生产力的重要特征。结构化模型的估计也表明工业机器人与企业层面的全要素生产率具有正向的因果效应^[4]。实证研究同样表明机器人使用强度增加贡献了经济整体增长率的 15%^[5]。因此，工业机器人应用对于促进新质生产力发展具有重要的战略性价值。

发展新质生产力需要从“增量”和“存量”两方面入手。发展高科技、高效能、高质量的战略性新兴产业和未来产业是从提供“增量”的角度发展新质生产力，旨在通过智能、绿色、高效的生产方式创造更高质量的产品与服务，为经济的长期稳定发展注入新动能^[6]。然而，目前战略性新兴产业和未来产业在中国的产业结构中占比较低。因此，在追求“增量”的同时也需要从“存量”的角度出发，通过优化生产要素组合，进而直接赋能传统产业转型升级、提质增效。同时，求“增量”和改“存量”之间也可以相互促进、协同发展。对于企业而言，一方面需要通过应用新装备、新技术，赋能生产、组织与管理等各个环节的效率改善，从“存量”上直接提升生产力水平；另一方面，企业需要着眼于以高科技、高效能、高质量为特征的产品创新，进而为消费者创造更多的有效供给，从“增量”上为企业长远的发展寻求新的支撑点。企业通过效率改善与产品创新双管齐下，相辅相成，最终实现新质生产力的培育和发展^[7]。

工业机器人能够根据编程自动执行特定任务，从而优化企业的生产、交付管理流程，以“机器换人”、优化“存量”的方式直接降低生产成本，实现效率改善和过程创新^[8]，最终推进新质生产力发展。这类型机器人成为劳动力、控制软件和生产活动之间的接口，对低技能的劳动活动具有较强的替代性，提升了这类活动的劳动生产率。在面临价格竞争激烈的市场环境时，企业利用工业机器人进行效率改善更有利于获得竞争优势。学者研究发现，工业机器人在法国、西班牙、丹麦等国的应用显著提升了企业的产品附加值，增加企业销售收入，降低了劳动力成本，优化了公司整体的生产效率^[9]。因此，进行效率改善是工业机器人促进新质生产力的发展的直接路径之一。

同时，工业机器人凭借其数据收集与反馈的能力，在企业“增量”的产品创新方面将发挥更重要的作用，从而促进新质生产力的发展。这类工业机器人能够为持续优化现有产品、开展新产品研发与创新提供必要支撑条件。具体而言，这类工业机器人可以低成本地重复实验流程、降低实验中的不确定性和研发成本，深度参与产品研发和创新过程^[10]；通过与深度学习相结合，工业机器人具备了更强大的学习和自我优化能力，可以及时根据科研结果优化和加快研发过程，最终促进实验的成功和新产品的落地^[11]。相关产业数据表明，工业机器人的相关技术可以加快制药化工和机械设备领域的研发进

程，并充分利用客户信息、产品使用情况来提供创新性的产品和服务^[12]。因此，产品研发与创新带来的全要素生产率的增长是工业机器人促进新质生产力发展的另一条直接路径。

值得注意的是，发展“增量”与优化“存量”彼此之间相互促进，相辅相成。工业机器人的广泛应用将引发企业内部劳动力结构“存量”上的调整，具体表现为低技能劳动力逐步被工业机器人替代，而具备与工业机器人协同能力的中高技能劳动力日益成为企业员工的重要组成部分^[13]。技术性人才的积累将为公司带来重要的人力资本的提升，从而帮助企业更好地完成未来的产品创新和研发工作，实现创新“增量”的发展。新技术带来的无形资产积累也将为公司带来市场价值的提升。同时，为适应机器人在生产中的应用要求，企业势必会采取与其引发的劳动力结构变化相适应的管理与组织方式，从而进一步推动组织管理层面的流程创新。

因此，工业机器人通过效率改善与产品创新，提升了企业的全要素生产率，促进了新质生产力的培育和发展。在生产与组织管理过程中，企业需在效率提升与产品创新之间合理配置资源、统筹兼顾，推动工业机器人不断迭代升级，探索最契合的新质生产力发展路径^[14]。

基于此，本文提出如下假设：

假设 1：工业机器人应用可以促进企业的产品创新，进而促进新质生产力发展。

假设 2：工业机器人应用可以改善企业的生产效率，进而促进新质生产力发展。

三、研究设计

（一）工业机器人渗透度

本文参考现有研究^[15]，构建中国上市企业的工业机器人渗透度指标，其构造思想类似于“Bartik 工具变量”^[16]。具体的测度方法如下：

第一步，计算行业层面工业机器人渗透度指标，记为 PR_{it}^{CH} ：

$$PR_{it}^{CH} = \frac{MR_{it}^{CH}}{L_{i,t=2011}^{CH}} \quad (1)$$

其中， MR_{it}^{CH} 表示中国 i 行业 t 年的工业机器人存量， $L_{i,t=2011}^{CH}$ 表示中国 i 行业 2011 年（基期）的就业人数， PR_{it}^{CH} 表示中国 i 行业 t 年的工业机器人渗透度。

第二步，构造企业层面工业机器人渗透度指标：

$$CHFexposuretoRobots_{jit} = \frac{PWP_{jit=2011}}{IndPWP_{t=2011}} \times \frac{MR_{it}^{CH}}{L_{i,t=2010}^{CH}} \times \frac{Y_{j,t} - Y_{j,t-1}}{Y_{j,t-1}} \quad (2)$$

该指标衡量了 i 行业 j 企业在 t 年的工业机器人渗透度。其中 $\frac{PWP_{jit=2011}}{IndPWP_{t=2011}}$ 表示制造业中 i 行业 j 企业 2011 年（基期）生产部门员工占比与制造业所有企业 2011 年生产部门员工占比中位数的比值。本文以此比值作为权重，将行业层面的工业机器人渗透度分解到企业层面，用以考察企业层面的工业机器人渗透度。同时，本文参考 Acemoglu and Restrepo 的做法^[17]，通过将 $\frac{Y_{j,t} - Y_{j,t-1}}{Y_{j,t-1}}$ 与同年企业工业机器人渗透度相乘，进而剔除行业产出规模的相对增长或收缩对工业机器人渗透度带来的影响。

第三步，计算美国各个行业层面的工业机器人渗透度指标作为中国同行业企业工业机器人渗透度的工具变量。

（二）企业新质生产力发展水平

新质生产力以劳动者、劳动资料、劳动对象及其优化组合的跃升为基本内涵，以全要素生产率大幅提升为核心标志，特点是创新，关键在质优，本质是先进生产力。全要素生产率是衡量新质生产力的重要指标。从政策层面分析，新质生产力与政策实践高度相关，全要素生产率是新质生产力的核心标志。例如，党的二十届三中全会《决定》明确提出“健全相关规则和政策，加快形成同新质生产力更相适应的生产关系，促进各类先进生产要素向发展新质生产力集聚，大幅提升全要素生产率。从理论层面分析，新质生产力以劳动者、劳动资料、劳动对象及其优化组合的跃升为基本内涵，而全要素生产率的计算方法体现了对劳动、资本和技术等生产要素的优化组合过程，它高度契合新质生产力的基本内涵。把全要素生产率纳入到新质生产力范畴当中，是马克思主义生产力理论的创新^[18]。从实证层面分析，基于全要素生产率的角度开展实证研究，是分析和推动新质生产力发展的现实逻辑要求。例如，史丹与孙光林（2024）以全要素生产率作为新质生产力的衡量指标，研究了数据要素对企业新质生产力的影响^[19]。因而，全要素生产率可以用来衡量企业新质生产力的发展情况。本文参考 Babina 等（2024）的做法计算企业全要素增长率，进而用它代表企业的新质生产力发展水平^[20]。具体的计算方式如下：

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \beta_k \ln K_{it} + \beta_l \ln L_{it} + \sum_m \delta_m year_m + \sum_k \gamma_k ind_k + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中， Y_{it} 表示企业 i 在 t 年的营业收入， K 和 L 分别为企业固定资产和从业人员规模， $year$ 和 ind 分别是代表企业年份和行业的虚拟变量。 ε_{it} 表示在生产函数中无法体现的随机干扰以及测量误差等因素。按照 TFP 的定义可知：

$$\ln TFP_{it} = \beta_0 + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

由此可以得到 TFP：

$$TFP_{it} = \ln Y_{it} - \beta_k \ln K_{it} - \beta_l \ln L_{it} \quad (5)$$

同时，本文进一步参考主流文献，使用 OP 法、LP 法以及 FE 法对企业的全要素生产率水平进行测算，并更换被解释变量进行稳健性检验，基准回归结果依然稳健。

（三）企业产品创新与效率改善

1.企业专利数据获取

根据 Babina 等的定义，效率改善是指企业在生产现有产品时的生产效率提高，具体表现在生产成本降低、生产速率提升等方面^[21]。在这一情形下，现有产品本身的品质与性能并未发生明显改变。产品创新是指企业所能生产的产品种类增多，或现有产品的品质与性能得到明显改进，进而使得产品对于客户的吸引力上升，企业的市场份额扩大。本文通过 IRPDB 知识产权数据库获取企业专利的标题、摘要、申请日期、申请人、分类号等信息，然后根据申请人信息将专利与上市公司相关联，最终获取到制造业上市企业在发明专利、实用新型和外观设计这三个方面的专利信息，进而用于后续 BERT 语言模型的文本分类任务。

2.BERT 语言模型文本分类

IRPDB 知识产权数据库中的专利摘要信息描述了该专利技术的功能和用途，本文进一步基于专利摘要信息，利用 BERT 语言模型将上市公司专利划分成“产品创新”与“效率改善”两种类型。“产品创新”类专利通常直接体现为企业新开发的产品，或能显著提升现有产品的质量水平，进而实现对企业现有产品线的优化或延伸。而“效率改善”类专利虽不直接影响产品质量或产品种类，但能够有效提升生产效率、降低成本，或减少材料损耗，从而改善企业的生产流程与运营绩效。

现行的专利分类体系《国际专利分类表》是根据技术主体设立不同类目，这和本文所需要的分类方式显然不同。同时，上市公司专利数量极为庞大，通过人工研读专利摘要的方式进行逐一分类并不

可行。因此，本文利用 BERT 大语言模型突破上述困境：首先通过聘请相关领域专家对随机选择的 4000 条训练集专利摘要样本进行人工研读并加以分类，随后使用 BERT 语言模型去“学习”将专利划分为“产品创新”与“效率改善”的分类规则，并在“学习”过程中微调相关模型参数，最后用完成“学习”的 BERT 语言模型阅读去对所有专利摘要文本进行分类。

(四) 模型设定

如图 1 所示，自 2010 年后工业机器人在中国制造业中的应用迅速提升，并形成一定的规模效应。本文选取 2011 年至 2019 年中国 A 股所有制造业上市企业的微观面板数据进行回归分析，并控制企业的个体固定效应和年份固定效应，具体回归方程如下：

$$FirmVariables_{i,T} = \alpha_0 + \alpha_1 Robots_{i,T} + \alpha_2 controls_{i,T} + \theta_i + \lambda_T + \epsilon_{i,T} \quad (6)$$

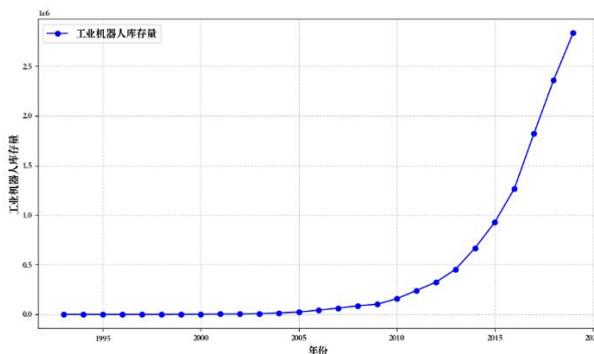


图 1 中国工业机器人安装总量 (2011-2019 年)

资料来源：IRF 官网

本文的被解释变量分别为企业全要素生产率、销售收入、个股总市值，核心解释变量 ($Robots_{i,T}$) 为通过式 (2) 估算得到的企业层面工业机器人渗透度指标。 θ_i 和 λ_T 分别代表企业和年份层面的固定效应， $\epsilon_{i,t}$ 为误差项。参考工业机器人应用的相关研究并结合中国制造业特点，选择了以下七个企业与省份层面的控制变量，具体包括：(1) 公司层面的特征，企业规模 (FixedAsset)、企业资产负债率 (Leverage)、企业资产回报率 (Roa)；(2) 企业所在省份的特征，省份国内生产总值 (GDP)、制造业人员比例 (ManuPropor)、制造业城镇单位就业人员平均工资 (ManuWage)、制造业产出增长率 (IndustryGrowth)。对以上所有企业与省份层面的连续型控制变量，本文均做了上下 1% 的缩尾 (winsorize) 处理，以排除极端值影响。数据来源为国泰安 CSMAR 数据库、万得 WIND 数据库以及国家统计局。

表 1 提供了简要的描述性统计结果。企业工业机器人渗透度 ($Robots_{i,T}$) 的平均值为 2.6096, 最小值为 0.0108, 最大值为 5.9186, 标准差为 1.3609, 说明各企业的工业机器人应用程度存在较大差异。其他财务指标均与既往的文献保持一致。

表 1 描述性统计结果

变量	变量名称	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
TFP	企业全要素生产率	11645	6.5466	7.7096	4.7084	8.6351
Sale	企业销售收入的自然对数	11645	21.4501	1.3345	18.2871	25.1467
Market	企业总市值的自然对数	11645	15.5645	0.8992	13.8507	18.2310
Robots	企业工业机器人渗透度	11645	2.6096	1.3609	0.0108	5.9186
FixedAsset	企业固定资产规模的自然对数	11645	1.9234	4.1905	0.0211	29.2498
Leverage	企业资产负债率 (%)	11645	40.3501	20.2619	4.6664	97.8040
Roa	企业资产回报率 (%)	11645	3.8773	5.4324	-23.7675	21.7070
IndustryGrowth	企业所在省份制造业产出增长率 (%)	11645	15.1936	10.0375	0.5020	37.6511
GDP	企业所在省份生产总值	11645	38.8081	23.8567	2.1310	99.9452
ManuWage	企业所在省份制造业城镇单位就业人员 平均工资水平	11645	0.5260	0.1699	0.2618	1.1589
ManuPropor	企业所在省份制造业人员比例	11645	1.1487	0.5475	0.3347	2.1443

四、实证结果与分析

（一）基准回归结果

首先，本文检验了工业机器人使用是否能够通过提升企业的全要素生产率，从而促进新质生产力的发展。我们根据式（6）所示的方法，分别计算了企业层面的TFP。其中，列（1）-（3）的因变量分别是基于OP法、LP法和Babina et al.（2024）方法计算得到的全要素生产率^[22]。表2列（1）-（3）的结果显示，无论使用何种TFP估计方法，工业机器人渗透度的增加都在1%的水平上显著提升了企业的全要素生产率，并推动了新质生产力的发展。工业机器人渗透度的提升之所以能够显著提高企业全要素生产率，主要有以下几点原因。首先，工业机器人能够替代部分人工进行自动化生产，减少人为操作引致的失误和质量波动，提高产品生产的精确度和一致性。其次，机器人具有高效能的工作能力，可以长时间持续高效作业，从而显著缩短生产周期并提高产量。此外，具备反馈功能的机器人能够通过自主学习和优化，适应不断变化的生产需求和工艺，进一步推动生产效率的提升。最后，随着工业机器人广泛应用，企业还能够减少对低技术劳动力的依赖，转而在高技术领域投入更多资源，从而实现生产要素的优化配置与人力资本的积累。这些因素共同作用，使得工业机器人渗透度的增加成为提升企业生产效率的关键驱动力。全要素生产率的大幅提升是新质生产力的核心标志。因此，工业机器人的广泛应用显著提升了企业的全要素生产率，有力地推动了新质生产力的发展。

表2 工业机器人使用与企业新质生产力

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	OP	LP	FE	Sale	Market
Robots	0.0541***	0.0652***	0.0739***	0.0716***	0.0599***
	(2.7733)	(2.9751)	(3.1610)	(2.7796)	(3.3139)
FixedAsset	0.0632	0.1383***	0.2945***	0.0617***	0.0377***
	(1.4300)	(2.7559)	(5.0653)	(8.5812)	(6.8546)
Leverage	0.0653***	0.0919***	0.1121***	0.0125***	0.0002
	(9.6116)	(11.6288)	(12.8508)	(11.7588)	(0.2384)

IndustryGrowth	-0.1999*	-0.1418	-0.1387	-0.0102	0.0109
	(-1.9369)	(-1.2494)	(-1.1048)	(-0.7670)	(0.9834)
GDP	0.0578	0.0550	0.0558	0.0055	0.0010
	(1.5597)	(1.3323)	(1.2206)	(1.1604)	(0.2784)
ManuWage	-1.0154	-1.1218	-1.0523	0.2472	0.1807
	(-0.6721)	(-0.6264)	(-0.5258)	(1.2130)	(0.9740)
ManuPropor	0.6208	0.4157	0.5696	0.0399	0.0567
	(1.6029)	(0.9344)	(1.1814)	(0.7733)	(1.2112)
Roa	0.1651***	0.2102***	0.2279***	0.0237***	0.0208***
	(12.6975)	(14.9510)	(15.2390)	(15.9522)	(17.6211)
Constant	61.2789***	83.5915***	101.2486***	20.2446***	14.8328***
	(58.8037)	(69.9666)	(76.3168)	(133.0198)	(116.0609)
N	11645	11645	11645	11645	11645
R ²	0.8681	0.9095	0.9262	0.9255	0.8546
控制变量	是	是	是	是	是
公司固定效应	是	是	是	是	是
年固定效应	是	是	是	是	是

注：*、**和***分别表示 10%、5%和 1%的显著性水平，括号内为 t 值。下表同。

在此基础上，我们以公司销售收入的对数（Sales）衡量其生产力水平，以公司股票市值的对数（Market）反映市场投资者对其经营绩效的整体评价，从而进一步验证工业机器人使用与公司新质生产力水平之间的关系。表 2 列（4）和（5）的结果显示，工业机器人渗透度的增加均在 1%的水平上显著

促进了企业销售收入和市值的增长。这进一步验证了工业机器人使用显著提升了企业的生产力水平和市场竞争力，进而促进新质生产力的发展。

（二）异质性分析

1.企业规模

如表 3 列（1）-（2）所示，本文根据企业总资产将所有样本分成大规模与小规模两组，分组检验了工业机器人使用对企业全要素生产率的影响。结果发现，工业机器人的应用更显著地提升了大企业的全要素生产率。这说明，规模较大的企业通常拥有更充足的资本与资源，可以开展大规模的自动化投资，并具备更为成熟的管理与运营体系，能够更高效地整合并应用工业机器人技术，优化生产要素的组合配置。同时，大企业较高的产能与订单稳定性使其能在更短时间内摊薄固定投入与折旧，进而进一步降低了边际成本。而小规模企业，除资金与人才短缺外，其生产批量较小、订单波动大，往往难以充分发挥工业机器人的优势，且组织结构扁平、技术标准化程度低，使得自动化改造需频繁停线调试，反而降低了工业机器人应用的生产效率。因此，工业机器人在大规模企业中对全要素生产率的提升作用更为显著。政策制定者在推广智能制造时应结合企业规模特征，提供差异化的融资工具、技术服务与培训支持，帮助中小企业跨越自动化转型的门槛。

2.市场化程度

如表 3 列（3）-（4）所示，我们根据不同省份的市场化程度，将各省划分为“市场化程度高”地区和“市场化程度低”地区，分组检验了不同市场化程度下，工业机器人使用对新质生产力的影响。结果显示，在市场化程度高的地区，工业机器人渗透度对企业全要素生产率提升作用更为显著。这可能是由于市场化程度较高的地区通常具备更为雄厚的工业基础、更高的经济发展水平、完善的基础设施配套，以及较多的科研机构 and 高等院校；同时，此类地区对外交流和贸易活动更为频繁，有利于工业机器人技术的广泛应用与效益的充分发挥。另一方面，市场化程度高意味着资本、劳动力、技术等要素价格更能真实反映边际生产率，能够更好地发挥工业机器人应用提升生产效率的作用。另外，在充分竞争的产品与要素市场中，企业可以通过不断地改进技术与高效运营方能维持利润水平，工业机器人由此成为企业转型升级的战略选择，而高强度绩效考核与灵活薪酬体系也提高了一线员工与技术团队对自动化改造的接受度和创新积极性。

3.企业性质

如表 3 列 (5) - (6) 所示, 我们依据公司是否国有来分组检验工业机器人使用对企业全要素生产率的影响。结果显示, 对于非国有企业, 工业机器人应用对于企业全要素生产率的促进效果更强。这说明, 非国有企业能够更有效地运用工业机器人提升生产效率、降低人工成本, 从而在市场竞争中取得优势, 并进一步推动其全要素生产率的提升。这可能是由于非国有控股企业往往面对更激烈的市场竞争, 其生存和发展更多依赖于创新和效率提升。工业机器人能够提高生产效率、降低人工成本, 帮助企业在竞争中占据优势。同时, 非国有控股企业往往面临更严格的资本约束, 迫使其最大化每一项技术投入的产出效率。工业机器人作为高成本、高效率的资本性投入, 其使用效果在这些企业中更为显著。

表 3 异质性分析

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	TFP	TFP	TFP	TFP	TFP	TFP
	大规模公司	小规模公司	市场化程度高	市场化程度低	国有企业	非国有企业
Robots	0.9608***	0.2998	0.0737***	0.0677*	0.5876	0.7311**
	(3.3475)	(0.8934)	(2.76)	(1.77)	(1.4393)	(2.5671)
N	5281	5360	6689	5042	3548	7093
R ²	0.934	0.887	0.934	0.939	0.943	0.912
控制变量	是	是	是	是	是	是
公司固定效应	是	是	是	是	是	是
年固定效应	是	是	是	是	是	是

(三) 稳健性检验

为了确保实证结果的稳健性, 本文做了如下一系列稳健性检验^[23]。文章首先以企业层面的机器人进口数量和金额替代原先的工业机器人渗透度指标进行回归, 发现进口量与进口额的增加同样显著提

升制造业上市公司的全要素生产率；随后以美国同行业的机器人渗透率作为工具变量并采用两阶段最小二乘法处理潜在内生性，一阶段显示该工具变量具有较强解释力，二阶段结果仍表明机器人渗透度对全要素生产率、销售收入和市值均存在显著正向影响，整体印证了工业机器人应用对企业新质生产力的稳健促进作用。

（四）机制检验

在基准实证结果的基础上，本文从产品创新和效率改善两个维度来进行机制检验。

1. 产品创新机制

在机制分析上，本文首先检验了工业机器人的应用是否能够通过促进企业产品创新，进而推动新质生产力的发展。我们首先使用 BERT 语言模型识别了公司“产品创新”型专利，并分别使用“产品创新”专利数量、相邻两年间“产品创新”的差异化程度、企业商标授权量和以及新授权商标的种类数目来衡量企业的产品创新情况。由于上述被解释变量的数值具有明显的向 0 偏斜的特征，因此表 4 列（1）-（4）中为使用泊松回归进行分析的结果。

表 4 工业机器人使用与产品创新和效率改善

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	产品创新 专利	专利差异化	商标数量	商标种类	效率提升 专利	当期 人均产出	未来一期 人均产出
Robots	0.2180*** (3.26)	0.0173* (1.82)	0.0173*** (4.14)	0.0188*** (4.72)	0.1374** (2.01)	0.0802*** (3.26)	0.0393* (1.72)
N	11,645	11,645	11,645	11,645	11,645	11,645	11,645
-Log likelihood	87966	6908	15180	14269	10522		
R ²						0.813	0.825
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
公司固定效应	是	是	是	是	是	是	是

年固定效应	是	是	是	是	是	是	是
-------	---	---	---	---	---	---	---

表 4 列（1）的实证结果表明，工业机器人渗透度的增加在 1%的水平上显著促进了企业的产品创新，进而促进新质生产力的发展，这验证假设 1。如表 4 列（2）所示，工业机器人渗透度仅在 10%的水平上促进第二年专利差异化程度提升，且促进作用的经济显著性弱于工业机器人渗透度对专利数量的影响。这表明，工业机器人在应用初期对企业创新能力的提升更多体现在专利数量的增长，而对专利质量或差异化程度的改善相对较弱。

此外，本文使用企业商标授权量数据来度量企业产品创新水平，并用企业商标在国家有关部门分类标准下的种类数目来度量企业产品创新的多样化水平。如表 4 列（3）、（4）所示，企业工业机器人应用均在 1%的水平上显著提高了其商标新授权量以及商标多样化水平，促进了企业的产品创新，进一步验证了假设 1。以上事实表明，工业机器人的应用促进了企业产品创新的能力，进而促进了全要素生产率的提升以及新质生产力的培育和发展。

2.效率改善机制

接下来，本文检验了工业机器人应用能否通过促进企业效率改善，进而促进新质生产力发展。本文首先使用上市公司“效率改善”专利数量，并把它作为衡量企业效率改善的指标。由于被解释变量的数值同样具有明显的向 0 偏斜的特征，此处我们仍使用泊松回归进行分析。表 4 列（5）的结果表明，工业机器人渗透度的提升能够显著促进企业进行效率改善。因此验证假设 2，即工业机器人可以通过改善企业效率促进新质生产力的发展。

本文进一步利用制造业企业生产性员工的人均年产出量来度量企业的生产效率水平，并对工业机器人渗透度进行回归分析。如表 4 所示，列（6）的被解释变量为企业生产性员工的当期人均年产出量，列（7）的被解释变量是未来一期的企业生产性员工的人均年产出量。结果表明，工业机器人应用在 1%的水平上显著提高了企业当期的人均年产出量，并在 10%的水平上提高了未来一期企业的人均年产出量，体现出一定的滞后性与持续性。工业机器人通过高效、精准、持续的自动化操作，从多个维度优化了生产流程，显著提升了生产效率。这种效率提升不仅体现在产量上，还体现在质量、一致性、安全性和资源利用率等方面，是现代制造业转型升级的重要动力，有助于企业层面新质生产力的培育和发展。

3.工业机器人的产品创新和效率改善效应的相互影响

进一步地，我们讨论了工业机器人的产品创新和效率改善效应的相互影响。如表 5 列 (1) - (2) 所示，我们按照企业产品创新专利的数量，将样本分为高产品创新组和低产品创新组，并在两个组内分别检验了工业机器人渗透度对企业效率改善的影响。结果表明，在高产品创新组中，工业机器人的使用显著提升了企业“效率改善型”专利的产出；而在低产品创新组中，工业机器人的使用对该类专利产出影响不显著。进一步分析发现，两组中工业机器人使用的系数在 1% 显著性水平下存在差异。这说明，高水平产品创新的企业通常在流程管理、组织架构及生产方式上具备更强的灵活性，更易于适应机器人自动化所需的技术条件。在此基础上，工业机器人能够与企业的组织协调和生产流程实现更高层次的协同，从而更充分地发挥其潜能，提升整体生产效率。相比之下，低水平产品创新的企业中，机器人更多地被用于“机械替代”，未能有效促进流程协同与优化，反而可能引发操作摩擦、资源浪费等问题。以上实证证据说明，当企业产品创新水平较高时，工业机器人使用可以更好地促进效率改善。

表 5 工业机器人使用：效率改善和产品创新效应的相互影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	效率改善专利		产品创新专利	
	高产品创新	低产品创新	高效率提升	低效率提升
Robots	0.1524**	0.2284	0.1816**	0.1709**
	(2.1490)	(1.2378)	(2.2446)	(2.3869)
N	2193	3941	2,790	5,735
-Log likelihood	5309	3942	39242	25859
控制变量	是	是	是	是
公司固定效应	是	是	是	是
年固定效应	是	是	是	是
组间系数差异 (P 值)	0.000***		0.000***	

同样地，如表 5 列 (3)、(4) 所示，我们按照企业“效率改善”专利的数量，将样本分成高效率提升组和低效率提升组，并在两个组内分别检验了工业机器人使用对企业产品创新的影响。结果显

示，在高效率提升组内，工业机器人使用显著提升了企业“产品创新”型专利产出；而在低效率提升组内，工业机器人使用也与企业“产品创新”型专利产出显著正相关。组间系数差异检验的结果表明，两组内工业机器人使用对“产品创新”型专利产出的影响差异显著。这表明，高效率企业通常具备更强的数据收集、反馈与管理能力，能够更迅速地将工业机器人生成的生产与实验数据反馈至研发部门，从而更有效地推动产品设计改进、技术迭代加速与产品创新深化。同时，运营效率的提升意味着单位产出成本降低，由此节省的现金流可用于增加原型试制、市场测试及设计人才投入，为企业研发活动提供更充足的资金与人力资源支持。上述实证结果表明，在企业效率显著改善的情况下，工业机器人的使用能够更有效地推动产品创新。

（五）进一步讨论

为了阐明工业机器人应用的宏观影响，本文研究了工业机器人应用带来的行业层面变化^[24]。本文同样借鉴 Babina 等（2024）的做法，采用长期差分模型进行分析，具体模型如下：

$$\Delta Y_{j,[2011,2019]} = \theta \Delta Robots_{j,[2011,2019]} + \gamma Controls'_{j,2011} + SectorFE + \epsilon_j \tag{7}$$

该模型计算得到行业层面的工业机器人渗透度，并计算 2011 年与 2019 年的差值作为核心解释变量。研究发现，工业机器人应用不仅显著推高了行业内的企业数量，还在 10% 显著水平上提升了行业内竞争强度，并同步扩大行业就业规模；进一步对企业雇员数的动态回归表明，机器人使用持续带来了企业用工净增加。综合来看，机器人提升了生产效率与产品质量，扩大有效供给并压低价格，进而激发市场需求、吸引新企业入场；同时，企业自动化转型催生了维护、编程、传感器等配套业务与技术岗位，使行业总体就业水平和竞争活力同时上升。

五、研究结论与政策建议

本文基于国际机器人联合会（IFR）发布的行业层面机器人数据及中国制造业上市公司的微观数据，实证检验了工业机器人对新质生产力发展的影响。研究结果表明，工业机器人的使用显著提升了企业的全要素生产率，推动了新质生产力的发展。同时，工业机器人的应用显著提升了企业的销售收入与市场价值，且对大型企业、非国有企业以及位于市场化程度较高地区的企业影响更为显著。主要实证结果在更换解释变量及采用工具变量回归后仍表现出较强的稳健性。在作用机制上，工业机器人通过同时推动企业的产品创新与效率改善，从而进一步促进企业新质生产力的发展。本文的结论为理解工业机器人对新质生产力的影响提供了重要的学术依据，并为制定相关的公共政策提供了有力的参考。

结合文章的主要结论，我们提出如下政策建议：

第一，全面推动企业自动化转型升级，加快工业机器人应用研发，夯实新质生产力基础。鼓励企业加快工业机器人部署，特别是在制造业、物流等行业中，推动工业机器人应用模式由“机器换人”向“人机协同”转变。升级工业机器人设备，推动传统工业机器人设备由加工型工业机器人向智能工业机器人转变。针对半导体、新能源等新质生产力重点发展领域，建立工业机器人研发机制，以相关产业的场景化需求为指引，形成需求牵引创新的研发反馈机制，着力攻克减速器、控制器、伺服系统等工业机器人关键领域的技术瓶颈。

第二，打造梯度化的工业机器人的应用支持体系，赋能企业新质生产力的发展。相关部门在政策设计上要针对大型企业和中小企业设计差异化的工业机器人支持体系。对大型企业，可考虑通过“投贷联动”方案，联合应用政府产业投资基金和银行专项贷款，帮助大型企业巩固工业机器人赋能新质生产力的技术优势，并鼓励大型企业牵头组建工业机器人应用联合体，带动中小企业提升工业机器人渗透率；对中小企业，可考虑通过财政补贴和税收减免等方式，引导中小企业建设工业机器人智能化自动化生产线，提升工业机器人赋能中小企业新质生产力的效果。

第三，深化工业机器人与企业运营系统和研发平台深度融合、培育人机融合型人才，赋能企业产品创新与效率改善，全方位推进新质生产力发展。将工业机器人数据与企业的管理信息系统深度连接，全方位优化企业的运营管理能力和组织运行效率；加大机器人在高端制造、药品研发等领域重复性实验阶段的应用，及时依据反馈数据调整研发流程和研发路径，节约研发成本，加快新技术、新产品的研发投产速度。此外，可设立“工业机器人实验室”，通过高校、企业和科研院所的产学研攻关，提升机器人的智能化程度和创新能力。

参考文献：

- [1][10]Braguinsky S et al.Product innovation, product diversification, and firm growth: Evidence from Japan's early industrialization[J].American Economic Review,2021,111(12):3795-3826.
- [2][12]Rammer C et al.Artificial intelligence and industrial innovation: Evidence from German firm-level data[J].Research Policy,2022,51(07):104555.
- [3][13]Acemoglu D,Restrepo P.The race between man and machine: Implications of technology for growth, factor shares, and employment[J].American Economic Review,2018,108(06):1488-1542.
- [4]Koch M et al.Robots and firms[J].The Economic Journal,2021,131(638):2553-2584.
- [5]Graetz G,Michaels G.Robots at work[J].Review of Economics and Statistics,2018,100(05):753-768.
- [6][18]刘伟. 科学认识与切实发展新质生产力[J].经济研究,2024,59(03):4-11.
- [7]何青, 胡通, 梁柏林. 金融服务新质生产力发展：历史经验与中国启示[J].当代财经,2024(07):59-70.
- [8]Restrepo P.Automation: Theory, evidence, and outlook[J].Annual Review of Economics,2024,16:1-26.
- [9][17]Acemoglu D,Restrepo P.Robots and jobs: Evidence from US labor markets[J].Journal of Political Economy,2020,128(06):2188-2244.
- [11][20][21][22]Babina T et al.Artificial intelligence, firm growth, and product innovation[J].Journal of Financial Economics,2024,151:103745.
- [14]Antonioli D et al.Robot adoption and product innovation[J].Research Policy,2024,53(06):105002.
- [15]王永钦, 董雯. 机器人的兴起如何影响中国劳动力市场?——来自制造业上市公司的证据[J].经济研究,2020,55(10):159-175.
- [16]Goldsmith-Pinkham P et al.Bartik instruments: What, when, why, and how[J].American Economic Review,2020,110(08):2586-2625.
- [19]史丹, 孙光林. 数据要素与新质生产力：基于企业全要素生产率视角[J].经济理论与经济管理,2024,44(04):12-30.
- [23]限于篇幅，稳健性检验部分的实证结果留存备案。
- [24]限于篇幅，“进一步讨论”部分的实证结果留存备案。

Industrial Robots and New Quality Productive Forces: Efficiency Improvement or Product Innovation?

HE Qing, CHEN Dongyao, LIU Erzhuo

Abstract: Accelerating the development of a modern industrial system and enhancing intelligent manufacturing are key requirements for fostering and advancing new quality productive forces. Through empirical analysis, this study systematically examines the economic impact of industrial robot adoption by manufacturing firms on the development of new quality productive forces. The findings show that the use of industrial robots contributes to the advancement of new quality productive forces and significantly increases firms' sales revenue and market capitalization. Heterogeneity analysis indicates that this effect is more pronounced among large firms, firms located in highly marketized regions, and non-state-owned enterprises. By leveraging the BERT large language model, we construct firm-level indicators for “efficiency improvement” and “product innovation”, revealing that industrial robot adoption promotes the development of new quality productive forces through both innovation and efficiency mechanisms. These two mechanisms interact with each other: when a firm demonstrates a high level of product innovation, robot adoption is more effective in enhancing efficiency; conversely, when efficiency improves significantly, the role of robots in promoting product innovation becomes more prominent. To further promote the automation transformation of the manufacturing sector, China should strengthen the deployment of industrial robots—especially in supporting the production and operations of small and medium-sized enterprises—while also enhancing their capacity to drive product innovation and improving firm efficiency.

Keywords: Industrial robots; New quality productive forces; Efficiency improvement; Product innovation; BERT



中国人民大学国际货币研究所

INTERNATIONAL MONETARY INSTITUTE OF RUC

地址：北京市海淀区中关村大街 59 号文化大厦 605 室，100872 电话：010-62516755 邮箱：imi@ruc.edu.cn