

“制造业高质量发展专题”

机器人使用、工艺创新与质量改进 ——来自中国企业综合调查(CEGS)的经验证据

程虹 袁璐雯*

摘 要: 文章通过独特的“中国企业综合调查”数据,应用 OLS、IV 和中介效应的实证方法,验证了机器人的使用对于质量改进的显著效应。机器人的使用带来了工艺创新,也就是新的加工方式、生产流程以及检测方法的应用,从而改进了企业的质量。文章的政策启示为,我国加快推进质量强国战略,一个非常重要的抓手就是要在制造业企业中全面推进机器人使用;我国制造业的技改项目中,要突出对机器人使用工艺的创新;我国各级政府的科研项目中,要突出对机器人共性技术的公共投入。

关键词 机器人 工艺创新 质量 中国企业综合调查

DOI: 10.19592/j.cnki.scje.370714

JEL 分类号: M11 ,O33 中图分类号: F273

文献标识码: A 文章编号: 1000-6249(2020)01-046-14

一、引言

近年来,机器人在我国工业制造领域得到了大规模使用。2017 年,中国机器人总使用量已占全球 22%,为当年新增机器人的 40%(IFR 2018)。虽然,当前我国工业机器人 25 个/万人的使用密度,仍低于韩国的 631 个/万人和日本的 303 个/万人等国家,但 2017 年的销量增长率高达 59%,总销量约为 138000 台,高于欧洲和美洲 112400 台的总和(IFR 2018)。这一增长速度从 2015 年以后均位列全球第一。面对机器人在中国爆发式增长这一现象,国内外学者分别从替代劳动力(Cheng et al., 2018; David, 2017; Michaels, 2014; Dauth et al., 2017; Feng and Graetz, 2015)和提高生产率(Acemoglu 2016; Aghion et al., 2017; Graetz and Michaels 2018)等作用上达成了一定的共识。

然而,通过作者所在的武汉大学质量院在广东、湖北、江苏、四川和吉林等省的制造业企业调查发现,相对于劳动密集型企业而言,资本密集型和技术密集型企业使用机器人的比例,要分别高出 1.3 倍和 3.1 倍。同时,机器人作为企业的一种资本品投入,短期内使企业的折旧显著上升,导致产

* 程虹,武汉大学质量发展战略研究院、宏观质量管理湖北省协同创新中心, E-mail: 919637855@qq.com, 通讯地址: 湖北省武汉市武昌区八一路珞珈山武汉大学老外文楼, 邮编: 430072; 袁璐雯, 武汉大学质量发展战略研究院, E-mail: ylw730@163.com。作者文责自负。

出效率不升反降。面对这一来自中国企业实际使用机器人的悖论,至少现有文献关于劳动力、生产率等角度的研究,还不具备完全的解释力。之所以如此,原因主要来自于现有文献对企业使用机器人的微观认知不够。企业使用机器人能够直接改进生产工具,从而优化了产品加工过程,提升了产品的质量。正是企业对于高质量产品的内在追求,才引起了不同类型的企业,特别是技术和资本密集型企业加快使用机器人。因而,本文研究的一个重要猜想是,企业使用机器人是否会带来质量的改进呢?

从质量改进的角度,也可以进一步证明这一研究的创新价值。关于质量改进,经典文献多是从提高管理能力(朱兰,2003)、减少信息不对称(Akerlof,1970)、质量阶梯(Khandelwal,2013;魏伟,2018)、标准(Marquardt,1991)、技术创新(Solow,1957)等角度进行了研究。近年来,国内外也有很多文献从数字化(许和连,2016;王爱民,2018)、智能化(刘晓宁,2016;余泳泽,2018)、网络化(施炳展,2016;余森杰,2017;戴翔,2019),以及政府规制(张杰,2015;刘怡,2016;朱鹏洲,2018)等角度,研究了企业质量改进的方法。但是,从机器人的角度来研究质量改进却鲜有学者涉及。之所以会如此,一方面是因为机器人的使用是中国近些年来才大规模出现的经济现象,另一方面则是研究这一问题的企业微观数据的缺乏。

接下来,本文需要进一步研究的问题是,既然机器人可能是企业质量改进的重要方法,那么这一改进是通过什么样的机制来实现的呢?要研究这一问题,仍然要回到机器人本身。机器人是一种凝聚了技术创新的新型生产设备,要使用这一设备,就需要改变原有的加工方式,要变革原有的生产流程,以及采用新的检测方法,而这些实际上就是工艺创新的范畴。所谓工艺创新,是指企业通过运用和研究新的生产方式和管理方法等,提高企业的生产技术水平、产品质量和生产效率的活动。仅以焊接机器人为例,其使用就显著改变了人工焊接的加工方式,简化了焊接生产流程和高精度的检测,从而最终改进了焊接质量。即使是侧重于包装、码垛和搬运的机器人,也减少了质量损耗,并提高了包装、搬运和仓储的质量精度。因而,本文将从工艺创新的三个方面,即加工方式、生产流程和检测方法,来具体研究机器人对质量改进的机制。需要特别说明的是,本文所研究的工艺创新,对于创新研究也有边际上的贡献。现有文献一般都是从创新投入(研发强度)和创新产出(专利)两个方面来研究创新,而很少有从创新过程(工艺创新)来研究创新,本文因为拥有中国企业综合调查数据的这一优势,使我们有从工艺创新角度来研究机器人对质量改进的机制效应。

本文余下的篇章是这样安排的,接下来的第二部分为数据来源、变量描述与模型构建,包括机器人使用、质量提升和工艺创新的测度方法,变量的描述性统计,并对基准模型进行了设定;第三部分为实证分析,根据模型设定,就机器人对质量改进的影响效应进行了稳健分析;第四部分则分别通过工艺创新的加工方式、生产流程和检测方法的三个方面,对机器人影响质量改进的机制进行了检验;最后是本文的结论与启示。

二、数据、变量描述与模型构建

(一) 数据来源

正如引言所表述的,要有效地研究本文的问题,重要的基础就是要有机器人使用、质量改进和工艺创新的微观数据。本文研究的优势就在于,作者所在的武汉大学质量院——中国企业调查数据中

心,开展了“中国企业综合调查”(以下简称“CEGS”)。CEGS是我国首个企业与劳动力的大型匹配调查,于2015年在广东省首次开展,2016年拓展至湖北省,2018年扩大到江苏、四川和吉林,覆盖了全国东南西北中的代表性区域。在企业样本的选取上,CEGS采取以制造业就业人数为权重的PPS(Probability Proportional to Size)抽样方法,随机地选择省内的区县,以及各区县内的制造业企业,因而有较强的代表性。CEGS涵盖了本文所需要的企业基本信息,包括财务资本、生产设备、产品制造、生产方式、出口方式、研发创新和企业治理等方面,更重要的是拥有企业购买和使用机器人的年度、任务、性能和品牌数据,还拥有质量改进方面的产品更新换代速度、产品丰富程度、同比价格水平、品牌影响力和顾客满意度等关键数据,以及生产工艺中的加工方式、生产流程和检测方法数据。此外,本文在实证过程中,还计算并参考了有关劳动力的数据。正是因为这些数据,才使得本文有可能从企业内部的微观数据角度,比较细致而全面的研究机器人是如何通过工艺创新进而改进质量的。

本文对原始数据进行了如下处理:剔除一些数据不完整的企业,同时为控制调查数据异常值的影响,对所有连续性变量都在1%和99%分位数上进行了winsorize处理。经过如上处理,本文最终获得了1944个企业的观测值。

(二) 变量描述

1. 被解释变量

本文主要因变量为样本企业的“质量改进”状况。质量改进是企业在质量方面的系统性状况,主要是要看企业在市场中的质量竞争能力,因为只有市场最终的竞争程度,才能真实地表达一个企业的质量改进状况。衡量这一状况的载体主要是产品,这就包括产品品种是否丰富,产品是否能够及时满足市场的需要,以及企业认为自己的价格同比水平如何。此外,一个企业的品牌影响力,特别是企业评估的顾客满意程度,更是综合性地反映了企业质量改进的水平。本文认为,作为一个企业的综合质量状况,最了解的就是企业自己,因而企业对自身在以上几个方面的评价就代表了不同企业质量改进的状况。我们抽取了问卷中,有关产品更新换代速度、产品品种丰富程度、同比价格水平、品牌影响力大小和顾客满意度等5个维度,对质量改进状况进行描述。实际测算过程中,受访者将本企业与同行业其他企业相比较,对以上5个问项进行评价。每一评价由低到高进行0~5分的等距赋值,并归一化为0~1分的质量改进指标。为方便计量运算,本文将5项指标数据乘以100得到0~100的得分,获取其算术平均数作为企业质量改进的代理变量,具体公式如式(1)。

$$Quality_{ij} = \frac{1}{5}(update_{ij} + varied_{ij} + price_{ij} + brand_{ij} + satis_{ij}) \quad (1)$$

其中 $Quality_{ij}$ 表示第*i*个地区的第*j*个企业的质量改进状况, $update_{ij}$ 是产品更新换代速度得分, $varied_{ij}$ 是产品品种丰富程度得分, $price_{ij}$ 是产品的价格水平得分、 $brand_{ij}$ 是产品的品牌影响力大小得分、 $satis_{ij}$ 产品的顾客满意度得分。

2. 解释变量

机器人作为解释变量,在现有的相关研究中只能根据销售端的宏观数据进行统计,很难估计出具体的企业使用机器人,是怎样影响劳动力和生产率的,更难以得出对企业的质量改进的影响。在本文的研究数据中,不仅可以真实地得出企业购买了多少个机器人,而且当一个企业购买了机器人,则代表着企业拥有了以机器人为形态的资本。本文为了更准确地得出机器人的资本价值,没有只采用机器人的现值来作为解释变量,因为这会低估机器人的影响。故本文根据理论界普遍采用的永续

盘存法^①对机器人的资本存量进行估计。该方法将机器人资本存量的模型表示为:

$$K_t = I_t/P_t + (1 - \delta_t) K_{t-1} \quad (2)$$

其中 K_t 为 t 年的机器人资本存量, I_t 为 t 年的机器人新增投资, 由于机器人属于固定资产投资, 因此这里的 P_t 为 t 年的固定资产投资价格指数^②, δ_t 为 t 年的机器人资本折旧率。根据通常意义上, 机器设备的使用年限在 11 年左右, 所以本文将机器人的折旧率 δ_t 设定为 9%。CEES 数据调查了近三年内的机器人现值和新增机器人投资额, 可以通过价格指数的平减法推断出 2014 年至 2017 年的机器人现值, 将 2014 年的机器人现值作为期初资本存量, 同时将新增机器人投资额迭代进去能够算出每一年的机器人资本。若企业没有使用机器人, 那么这一变量的值为 0。

3. 工艺创新变量

CEES 详细调查了企业的工艺创新行为, 其中包括“加工方式”、“生产流程”和“检测方法”等 3 类。本文采用“加工方式”、“生产流程”和“检测方法”3 个变量, 作为企业工艺创新的代理变量。

4. 控制变量

为降低解释变量意外的因素对回归结果造成的偏差, 本文根据已有的相关研究结果, 在模型中加入了影响质量的其他变量, 作为控制变量, 用以获得机器人使用对质量改进的净效应。本文选取了生产员工的教育水平、数控机器的现值、管理效率得分、企业规模和国际贸易类型等变量作为控制变量, 因为这些是影响质量改进的企业和员工因素。各变量的具体定义如表 1 所示。

表 1 变量定义及说明

变量名称	符号	变量定义
1. 被解释变量		
质量改进	Quality	5 项影响质量改进因素的得分的平均值
2. 解释变量		
机器人资本对数	lnrobotk	根据企业使用机器人的现值进行资本化计算后取对数
3. 工艺创新变量		
加工方式	Method	虚拟变量, 如果一家企业进行了加工方式创新, 取值为 1, 否则为 0
生产流程	Process	虚拟变量, 如果一家企业进行了生产流程创新, 取值为 1, 否则为 0
检测方法	System	虚拟变量, 如果一家企业进行了检测方法创新, 取值为 1, 否则为 0
4. 控制变量		
人力资本	HC	生产员工中大专/本科及以上学历人数占比
数控机器	CNC	虚拟变量, 如果一家企业使用了数控机器, 取值为 1, 否则为 0
企业年龄	Age	企业截至 2017 年的存续年限
管理效率	MS	该变量取自问卷中的管理效率得分, 取值范围为 0 ~ 1
出口行为	Exp	虚拟变量, 如果一家企业有出口行为, 取值为 1, 否则为 0
研发强度	Rdinten	将企业当年的 R&D 经费投入除以企业当年的销售收入后取对数
国际贸易类型	Trade	企业直接材料进口比例

① Goldsmith R W. ,1951 , A Perpetual Inventory of National Wealth[R]. NBER Studies in Income and Wealth.

② 通过《中国统计年鉴 2014 - 2018》相关数据计算而得。

5. 描述性统计

表2汇报了各变量的描述性统计结果。在全样本中,有16%的企业使用了机器人,企业的质量改进平均得分为69.4分。在663家出口企业中,出口产品国内附加值比率平均值为83.8%,其中直接材料进口的比重为20.6%。

表2 主要变量的描述性统计结果

变量	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
Quality	1 944	69.36	20.70	0	100
DVAR	663	83.83	34.89	0	100
Robot	1 944	0.16	0.37	0	1
Lnrobotk	1 944	0.91	2.30	0	12.67
Method	1 944	0.63	0.48	0	1
Process	1 944	0.62	0.48	0	1
System	1 944	0.49	0.50	0	1
HC	1 944	0.02	0.07	0	1
CNC	1 944	0.35	0.48	0	1
Age	1 944	13.43	8.59	2	68
MS	1 944	0.56	0.14	0	0.92
Rdinten	1 944	0.52	0.91	0	10.56
Trade	663	20.63	29.64	0	100

从控制变量上看,样本企业的一般状况符合国家统计局基本样本分布特征,由于这些变量不是本文最主要的研究对象,此处不对它们进行一一描述。

表3汇报了机器人对质量改进的5个方面的统计结果。分组显示,使用机器人的企业,在质量改进的各个方面都比未使用机器人的企业要高,其中产品更新换代速度高出12.1分,产品丰富程度高出11.8分,同比价格水平高出5.6分,品牌影响力高出10.2分,顾客满意度高出4.8分。

表3 机器人对质量各维度的不同表现

	未使用机器人	使用机器人	T 检验
产品更新换代速度	60.22	72.29	-12.07***
产品丰富程度	64.79	76.57	-11.78***
同比价格水平	67.05	72.62	-5.57***
品牌影响力	68.25	78.47	-10.22***
顾客满意度	79.11	83.88	-4.77***

表4进一步描述了在不同类型企业的状况下,机器人对于质量改进的影响。从产业类型来看,无论是劳动密集型企业,还是资本密集型企业,以及技术密集型企业,机器人的使用都显著改进了这些企业的质量。其中,劳动密集型企业提高了4.8分,资本密集型企业提高了6.7分,技术密集型企业提高了6.7分。之所以资本密集型企业和技术密集型企业较之劳动密集型企业得分要高,是因为前两类企业在机器人使用的占比上要远高于劳动密集型企业,这也在一定程度上更进一步证明了企业使用机器人很大程度是来自于质量改进的动机。不同所有制企业的得分,也有有力地证明了机器人

对质量改进的效应。民营企业使用机器人后,质量改进的得分为7.8分,要显著高于国有企业的4.3分、外资企业的4.5分,这表明机器人更能够改进原有水平较低的民营企业的质量。从出口和非出口企业来看,两者质量都有显著改进,分别为6.1分和8.8分,非出口企业改进得分更高,其原因也是来自于原有的质量水平更低,而使用机器人以后改进效果更明显。

表4 机器人对质量改进的异质性影响

分类型	未使用机器人	使用机器人	T 检验	使用机器人企业占比
劳动密集型	66.01	70.83	-4.82 [*]	8.84%
资本密集型	71.17	77.86	-6.70 ^{***}	11.76%
技术密集型	71.17	77.86	-6.69 ^{***}	27.13%
分所有制				
国有企业	72.17	76.46	-4.29	24.69%
民营企业	66.49	74.31	-7.82 ^{***}	11.93%
港澳台企业	72.24	80.14	-7.90 ^{**}	21.43%
外资企业	77.35	81.85	-4.5 ⁺	42.86%
分出口行为				
非出口	65.58	74.42	-8.84 ^{***}	11.69%
出口	72.66	78.75	-6.09 ^{***}	23.88%

(三) 模型构建

为了深入探讨机器人对质量的影响,我们参照并扩展 Hummels and Klenow (2005) 以及朱鹏洲 (2018) 的相关模型,将模型设定如下:

$$Quality_{ij} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln RobotK_{ij} + \delta^T \sum X_{ij} + \mu_i + \mu_u + \mu_k + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

公式(2)中, $Quality_{ij}$ 表示第*i*个地区的第*j*个企业的质量改进状况,核心解释变量 $\ln RobotK_{ij}$ 表示机器人资本的对数, $\sum X_{ij}$ 表示其他的员工和企业特征控制变量, α_0 、 α_1 和 δ^T 分别表示各变量的回归系数, μ_i 为所有制固定效应, μ_u 为行业固定效应, μ_k 为省份固定效应, ε_{ij} 表示随机误差项。

关于机器人影响质量改进的路径以及检验方法,本文第四部分将加以详述,并逐一进行验证。

三、实证分析

(一) 全样本回归分析

表5给出了机器人使用对我国制造业企业质量改进的参数估计结果,方程(1)在不添加任何控制变量的情况下,机器人资本在1%的显著性水平下正向影响质量,说明企业使用机器人能够促使质量改进。方程(2)和方程(3)在依次添加代表员工因素的人力资本水平和代表企业因素的数控机器使用、管理效率得分和企业年龄、企业研发密度以及出口行为作为控制变量后,这一影响下降了50%,但仍然具有显著的正影响。方程(4)和方程(5)依次加入了所有制、行业、省份及企业规模固定效应的情况下,得到机器人资本对质量的影响效应为0.6,即机器人资本对数每提高10%,企业质量改进的得分能够提高6%。

其他变量对我国制造业质量改进也有着较为重要影响。相对于没有配备数控机器的企业而言,配备了数控机器的企业能够显著提高质量改进得分 3.6%。管理效率每提高 0.1 分,能够同时提高质量改进 3.0%。原因可能是机器人作为一种设备资源,需要企业具有更好的管理水平对资源进行整合。企业研发投入每提高 1%,质量改进能够提高 4.3%,可能的原因是研发投入带动了企业的产品创新,提高了产品丰富程度,进而引致了质量改进。有出口行为的企业质量比没有出口行为的企业高出 2.8%,原因可能是出口企业面临着更加严苛的质检,企业更加注重自身的质量形象,从而更好地树立品牌,扩大海外市场。

表 5 机器人使用与质量改进的参数估计

变量	Quality					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Inrobotk	1.454 *** (0.17)	1.432 *** (0.17)	0.769 *** (0.17)	0.626 *** (0.18)	0.590 *** (0.18)	0.600 *** (0.18)
HC		17.809 *** (6.05)	10.353 * (6.28)	9.529 (6.01)	9.995 * (5.94)	8.437 (6.02)
CNC			3.857 *** (0.90)	3.847 *** (0.90)	3.474 *** (0.92)	3.612 *** (0.90)
MS			31.812 *** (3.58)	30.407 *** (3.61)	30.598 *** (3.62)	30.235 *** (3.62)
Age			-0.012 (0.05)	-0.047 (0.05)	-0.049 (0.05)	-0.043 (0.05)
Rdinten			2.725 *** (0.56)	2.763 *** (0.57)	2.776 *** (0.58)	2.760 *** (0.59)
Exp			4.898 *** (0.90)	4.207 *** (0.91)	3.890 *** (0.93)	4.288 *** (0.99)
所有制固定效应				Y	Y	Y
行业固定效应					Y	Y
省份固定效应						Y
Observations	1 944	1 944	1 944	1 944	1 944	1 944
R - squared	0.026	0.029	0.124	0.131	0.134	0.141

注: 括号内数值为稳健标准误; *** 表示在至少 1%、** 表示 5%、* 表示 10% 水平上统计显著。

(二) 稳健性检验

为验证上述实证结论的可信性,本文进行了如下稳健性检验:(1) 替换主要被解释变量:世行发布的 2018 年东亚贸易发展报告显示,一个国家的 DVA(Domestic Value Added)能够反映产品的市场竞争力,客观地刻画出质量情况。因此,本文借鉴 Hiau(2016)的方法,并参考张杰(2013)的改良,将“出口国内增加值比率”(domestic value added ratio,DVAR)作为衡量出口企业质量改进的代理变量进行稳健性检验;(2) 替换主要解释变量:考虑到机器人一经使用,便会对企业的生产行为产生巨大改变。因此,采用“是否使用了机器人”作为机器人的替代指标进行回归检验;(3) 剔除部分样本:同质量改进直接相关的应当是用于生产线组装的工业机器人,对于同样适用于工业生产但只是用于包装、码垛和搬运的机器人,虽然能够影响质量改进但并不直接相关。因此,本文将剔除将机器人用于包装、码垛和搬运的企业样本,进行模型的稳健性检验。(4) 替换计量方法:本文将采用工具变量回归来规避机器人影响质量改进的内生性问题。机器人影响质量改进的内生性来源于:①遗漏变量问题和机器人变量的测度误差;②反向因果,质量改进的程度会影响企业使用机器人的选择。

由于质量的提升,为了达到更高的产品精度,企业会更多的使用机器人替代员工。为了处理内生性问题导致的估计偏误,本文选择各企业所在的区县距离中国四大机器人生产商(沈阳新松、广州数控、南京埃斯顿、芜湖埃夫特)的铁路距离作为主要的工具变量。

选择这一工具变量的原因在于:①相关性:工业机器人大多属于大型精密仪器,对运输过程有着非常高的要求,且多为铁路运输,企业倾向于从距离较近的生产商处购买机器人。另一方面,精密仪器的运输成本普遍较高,而更远的距离会产生更多的运输费用,这将纳入企业购买机器人的考虑当中。②外生性,一般来说,距离变量属于自然变量,企业对于质量的改进不会影响企业对于机器人生产商的选择。另一方面,机器人生产商与企业的距离属于地理因素,只会通过影响企业购买机器人的选择,从而影响企业生产质量的改进,并不会通过其他渠道影响质量。基于以上两点考虑,本文认为企业与机器人生产商的铁路距离是一种较好的工具变量。

表 6 汇报了稳健性检验的结果。方程(1)是替换了主要被解释变量并将样本量调整为出口企业之后的回归结果,由于样本针对出口企业,因此,控制变量中删除了“出口行为”(Exp),并引入了对 DVAR 有显著影响的“国际贸易类型”(Trade)。在控制了员工和企业层面控制变量及加入所有制、行业、省份固定效应后,机器人资本能够在 1% 的显著性水平下显著提高 DVAR,机器人资本每提高 1%,DVAR 能够显著提高 3.2%。方程(2)是替换了主要解释变量的回归结果,同样在控制各项因素后可以看出,使用机器人的行为能够引致 2.9% 的质量改进。方程(3)是剔除部分样本之后的回归结果,当剔除使用机器人进行包装、码垛和搬运的企业样本时,机器人对质量的影响有小幅度的降低,即机器人资本每提高 10%,质量提升了 4.6%。方程(4)是工具变量回归的结果,在添加了 4 个距离变量作为 IV 进行回归后发现,机器人对于质量改进的影响效应稳定在 0.52,与基准回归中 0.6 的效应相差较小,说明机器人对于质量改进的影响较为稳健,本文的模型设定不存在明显的内生性问题。

表 6 稳健性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	DVAR	Quality		
lnrobotk	3.327 *** (0.54)		0.457 ** (0.20)	0.519 * (3.52)
Robot		2.939 ** (1.19)		
Exp		4.296 *** (0.99)	4.167 * (1.02)	8.130 *** (2.05)
Trade	0.557 *** (0.05)			
剔除用于包装、码垛和搬运的机器人			Y	
员工特征	控制	控制	控制	控制
企业特征	控制	控制	控制	控制
所有制固定效应	Y	Y	Y	Y
行业固定效应	Y	Y	Y	Y
省份固定效应	Y	Y	Y	Y
Observations	712	1944	1877	1944
R-squared	0.192	0.139	0.13	0.121

注:括号内数值为稳健标准误;***表示在至少 1%、**表示 5%、*表示 10% 水平上统计显著。

由文献可知,企业购买机器人的行为受到政府扶持政策、劳动力成本等因素的影响。因此为排除这类因素对回归结果造成的干扰,本文将补贴政策、地方政府促进机器换人政策以及企业所在地劳动力成本等因素纳入到模型中依次进行回归,检验在控制了影响机器人使用的各项因素后,机器人对质量改进的影响是否依然显著。表7显示,方程(1)中,将“企业在近3年在购买机器人时是否享受到了补贴”作为机器人补贴变量加入后,机器人对于质量改进的影响略有降低;方程(2)中,将“企业所在省份是否出台了鼓励机器人应用的政策”作为省一级政策加入后,机器人对质量改进的影响基本不变;方程(3)中,将企业所在市的上一年度(2016年)政府工作报告中包含“智能”、“创新”的词频作为市一级政策的代理变量加入,由于有些县市没有在网上公开政府工作报告,因此,在本方程中,将这些地区的企业样本剔除,最终对1657个企业样本进行回归,以获得更为准确的计量结果。回归显示,机器人对质量改进的影响同样下降了6.5%;方程(4)中,将企业所在市的2016年当地设定的最低工资标准作为当地的劳动力成本作为代理变量,取对数加入方程进行回归,得到结果:机器人对质量改进的影响下降了6.8%。通过排除影响机器人使用的因素后发现,机器人对于质量改进的影响非常稳健。

表7 排除其他影响机器人使用的因素

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
		Quality		
lnrobotk	0.555 *** (0.19)	0.600 *** (0.18)	0.561 *** (0.19)	0.559 *** (0.19)
机器人补贴	Y			
省一级政策		Y		
市一级政策			Y	
市最低工资				Y
员工特征	控制	控制	控制	控制
企业特征	控制	控制	控制	控制
所有制固定效应	Y	Y	Y	Y
行业固定效应	Y	Y	Y	Y
省份固定效应	Y	Y	Y	Y
Observations	1944	1944	1657	1657
R-squared	0.141	0.141	0.14	0.14

注:括号内数值为稳健标准误;***表示在至少1%、**表示5%、*表示10%水平上统计显著。

四、机器人影响质量改进的机制检验

根据引言中对于机器人改进质量的理论机制的描述:企业通过加工方式、生产流程和检测方法3个机制,使用机器人来改进质量,本部分首先通过分组回归描述机制的影响效果,进而利用Baron and Kenny(1986)、温忠麟(2004)的“三步法”进行检验。

(一) 机器人影响质量改进的分组回归检验

分组回归结果如表8所示。在有加工方式、生产流程和检测方法创新的企业,机器人均能在1%的显著性水平下对质量改进产生正向影响,在控制了员工和企业特征控制变量和所有制、行业、省份

及企业规模固定效应的基础上, 边际效应为 0.69、0.74 和 0.70, 均高于全样本回归的边际效应 0.6。而在无加工方式、生产流程和检测方法创新的企业, 这一边际影响则较小且不显著。

表 8 企业创新行为异质性对机器人改进质量的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	加工方式		生产流程		检测方法	
	有创新	无创新	有创新	无创新	有创新	无创新
lnrk	0.685 *** (0.20)	0.385 (0.38)	0.736 *** (0.19)	0.517 (0.44)	0.695 *** (0.20)	0.196 (0.36)
员工特征	控制	控制	控制	控制	控制	控制
企业特征	控制	控制	控制	控制	控制	控制
所有制固定效应	Y	Y	Y	Y	Y	Y
行业固定效应	Y	Y	Y	Y	Y	Y
省份固定效应	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Observations	1219	725	1212	732	956	988
R-squared	0.095	0.138	0.097	0.112	0.100	0.117

注: 括号内数值为稳健标准误; *** 表示在至少 1%、** 表示 5%、* 表示 10% 水平上统计显著。

(二) 机器人使用、工艺创新与质量改进

具体三步法的实证检验步骤如下: 第一步是将机器人与质量改进进行回归, 若系数显著, 则表明机器人确实推动了质量提升; 第二步是将机器人与 3 个工艺创新的维度分别进行回归, 若系数显著, 说明机器人确实带来了企业的工艺创新; 第三步是将机器人和工艺创新的 3 个具体维度分别同时放入模型与质量改进进行回归, 若机器人系数不显著或者显著但系数降低了, 则证明机器人通过企业进行工艺创新影响了质量的提升, 从而中介效应得到验证。按照上述检验步骤, 由于机器人对质量改进的影响已在前文中证实, 那么本文只需要检测剩下两步, 机制验证模型设定如下:

第二步 验证机器人对工艺创新、产品创新的影响

$$\begin{cases} Method_{ij} = \alpha_0 + \alpha_1 lnrobotK_{ij} + \alpha_2 X_{ij} + \varepsilon_{ij} \\ Process_{ij} = \alpha_0 + \alpha_1 lnrobotK_{ij} + \alpha_2 X_{ij} + \varepsilon_{ij} \\ System_{ij} = \alpha_0 + \alpha_1 lnrobotK_{ij} + \alpha_2 X_{ij} + \varepsilon_{ij} \end{cases} \quad (3)$$

第三步 将机器人和工艺创新、产品创新同时放入回归方程:

$$\begin{cases} Quality_{ij} = \beta_0 + \beta_1 lnrobotK_{ij} + \beta_2 Method_{ij} + \beta_3 X_{ij} + \varepsilon_{ij} \\ Quality_{ij} = \beta_0 + \beta_1 lnrobotK_{ij} + \beta_2 Process_{ij} + \beta_3 X_{ij} + \varepsilon_{ij} \\ Quality_{ij} = \beta_0 + \beta_1 lnrobotK_{ij} + \beta_2 System_{ij} + \beta_3 X_{ij} + \varepsilon_{ij} \end{cases} \quad (4)$$

表 9 验证了机器人对质量改进的影响通过企业工艺创新来实现。方程(2)中可以看出, 机器人对企业加工方式创新的影响在 5% 的显著性水平下显著为正, 当将机器人和加工方式创新同时放入方程(3)中可以发现加工方式创新对于对质量改进的影响非常显著, 而机器人的系数显著性下降且系数值下降了 0.09, 说明加工方式创新对于机器人提高质量具有不完全中介效应; 同理, 通过方程(4)(5)(6)(7)可知, 生产流程创新和检测方法的创新均对质量改进有显著的正影响, 在机器人变量同时加入模型后, 机器人的系数分别下降了 0.1 和 0.13。根据温忠麟(2004)的中介效应计算公式可

知,企业加工方式创新、生产流程创新和检测方法创新等三类工艺创新的中介效应占比分别为14.7%、16.6%和21.5%。

表9 机器人使用、企业创新行为与质量改进

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	Quality	Method	Quality	Process	Quality	System	Quality
Inrobotk	0.600 *** (0.18)	0.011 ** (0.00)	0.511 *** (0.18)	0.013 *** (0.00)	0.500 *** (0.18)	0.021 *** (0.00)	0.471 *** (0.17)
Method			7.993 *** (0.99)				
Process					7.646 *** (1.00)		
System							6.131 *** (0.92)
员工特征	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
企业特征	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
所有制固定效应	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
行业固定效应	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
省份固定效应	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Observations	1944	1944	1944	1944	1944	1944	1944
R - squared	0.141	0.132	0.171	0.146	0.168	0.130	0.160

注: 括号内数值为稳健标准误; *** 表示在至少1%、**表示5%、*表示10%水平上统计显著。

五、结论与启示

本文利用CEGS宝贵的微观数据,创新性地验证了企业使用机器人对质量改进的显著效果。进一步地,机器人使用之所以能够带来企业质量的改进,很大程度上是因为机器人使用会带来工艺创新,也就是通过加工方式、生产流程和检测方法这3个方面的变化得以实现。

本文具有重要的政策含义,一是我国加快推进质量强国战略,一个非常重要的抓手就是要在制造业企业中全面推进机器人使用。机器人的使用,相对于其他质量改进的方法,对于那些质量水平目前还比较低的企业,具有更加显著的改进效应。也就是说,机器人能够更加确定地改进我国制造业的质量水平。为此,各级政府应该加快制定“制造业机器人使用发展战略规划”,引导企业更大规模地使用机器人,缩小与德国、日本和韩国等国家的差距。二是我国制造业的技改项目中,要突出对机器人使用工艺的创新。机器人之所以会成为大战略,非常重要的原因在于,本文的研究证明了机器人的使用效应很大程度上是来自于工艺的创新,对制造业具有牵一发而带全身的功能。因而,在技改项目中,通过机器人使用的引导,会改变制造业企业现有的加工方式、生产流程和检测方法,进而通过工艺这一过程创新,实现我国制造业在数字化时代的巨大变革。三是我国各级政府的科研项目中,要突出对机器人共性技术的公共投入。客观的说,我国机器人的研发、制造和使用,与世界先进水平还有较大差距,这其中既包括研发与制造中的材料、操作系统和加工等核心技术方面,也包括使用中的网络系统、智能装备和应用技能等综合支撑方面,这些差距都属于共性技术,都迫切需要加大政府的公共投入。中国要尽快形成在机器人制造和使用中,核心技术、系统应用与装备制造的自主可控。

参考文献

- 约瑟夫·M. 朱兰, A. 布兰顿·戈弗雷, 朱兰, 等 2003, 《朱兰质量手册》, 中国人民大学出版社。
- 魏伟、刘曼曼、孔祥贞 2018, “中国对美出口产品质量阶梯测度及影响因素研究”, 《宏观质量研究》, 第6卷, 第3期, 第37-49页。
- 许和连、王海成 2016, “最低工资标准对企业出口产品质量的影响研究”, 《世界经济》, 第7期, 第73-96页。
- 王爱民、李子联 2018, “技术引进有利于企业自主创新吗? ——对技术环境调节作用的解析”, 《宏观质量研究》, 第1期, 第109-117页。
- 刘晓宁、刘磊 2016, “企业出口强度与产品质量的相互影响——质量促进效应还是出口学习效应”, 《财贸研究》, 第6期, 第60-69页。
- 余泳泽、胡山 2018, “中国经济高质量发展的现实困境与基本路径: 文献综述”, 《宏观质量研究》, 第4期, 第1-17页。
- 施炳展、张雅睿 2016, “贸易自由化与中国企业进口中间品质量升级”, 《数量经济技术经济研究》, 第9期, 第3-21页。
- 余淼杰、张睿 2017, “人民币升值对出口质量的提升效应: 来自中国的微观证据”, 《管理世界》, 第5期, 第28-40页。
- 戴翔 2019, “主动扩大进口: 高质量发展的推进机制及实现路径”, 《宏观质量研究》, 第1期, 第66-77页。
- 张杰、翟福昕、周晓艳 2015, “政府补贴、市场竞争与出口产品质量”, 《数量经济技术经济研究》, 第4期, 第71-87页。
- 刘怡、耿纯 2016, “出口退税对出口产品质量的影响”, 《财政研究》, 第5期, 第2-17页。
- 朱鹏洲 2018, “改革开放以来外资准入政策演进及对制造业产品质量的影响”, 《管理世界》, 第10期, 第49-68页。
- 张杰、陈志远、刘元春 2013, “中国出口国内附加值的测算与变化机制”, 《经济研究》, 第10期, 第124-137页。
- 温忠麟 2004, “中介效应检验程序及其应用”, 《心理学报》, 第5期, 第614-620页。
- Cheng Hong, Ruixue Jia and Hongbin Li, 2018, “The Rise of Robots in China”, Forthcoming in Journal of Economic Perspectives.
- David B. 2017, “Computer Technology and Probable Job Destructions in Japan: An Evaluation”, Journal of the Japanese & International Economies, 43: 77-87.
- Michaels, G. et al. 2014, “Has ICT Polarized Skill Demand? Evidence from Eleven Countries over Twenty-five Years”, Review of Economics and Statistics 96(1): 60-77.
- Dauth W, Findeisen S, Suedekum J, et al. 2017, “German Robots – the Impact of Industrial Robots on Workers”, Cepr Discussion Papers.
- Feng A, Graetz G. 2015, “Rise of the Machines: The Effects of Labor-saving Innovations on Jobs and Wages”, Social Science Electronic Publishing.
- Acemoglu D, Restrepo P. 2016, “The Race Between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment”, Nber Working Papers.
- Aghion P, Jones B F, Jones C I. 2017, “Artificial Intelligence and Economic Growth”, Nber Working Papers.
- Graetz G, Michaels G. 2018, “Robots at Work”, The Review of Economics and Statistics.
- Baron, R. M. and Kenny, D. A. 1986, “The Moderator – Mediator Variable Distinction in Social Psychological Research: Conceptual, Strategic, and Statistical Considerations”, Journal of Personality and Social Psychology, 51: 1173-1182.
- Akerlof, George A 1970, “The Market for ‘Lemons’: Quality Uncertainty and the Market Mechanism”, Quarterly Journal of Economics, 84(3): 488-500.
- Khandelwal A, Schott P K, Wei S J 2013, “Trade Liberalization and Embedded Institutional Reform: Evidence from Chinese Exporters”, Social Science Electronic Publishing, 103(6): 2169-2195.
- Marquardt, Donald & Chove, Jacques & Jensen, K. E. & Petrick, Klaus & Pyle, James & Strahle, Donald 1991, “Vision 2000: The Strategy for the ISO 9000 Series Standards in the 90s”, Quality Progress 24: 25-31.
- Solow R M 1957, “Technical Change and the Aggregate Production Function”, The Review of Economics and Statistics 39.
- Hiau L K Y, Heiwai T Z 2012, “Domestic Value Added in Chinese Exports”, draft Feb.

Robotics、Process Innovation and Quality Improvement: Findings Based on China Enterprise General Survey

Cheng Hong Yuan Luwen

Abstract: The existing literature research rarely makes enough reasonable explanations for the low – cost and low – end problems of product quality in the international market from the perspective of robots. Based on the data of CEGS(China Enterprise General Survey) in 2018 ,this paper selects 1944 valid sample companies as research objects to study the effect of robot use on product quality. For the first time , this paper uses robot consumption data to conduct research on developing countries like China.

This paper expresses product quality competitiveness in five dimensions: customer satisfaction , renewal speed , product richness , year – on – year price level and brand influence , and uses it as a proxy variable for product quality. Descriptive statistics show that companies that introduce robots have different degrees of product quality in all dimensions than those that do not introduce robots. The benchmark returned that it was found that the production staff human capital level and numerical control machine , management efficiency score , enterprise age , R&D density and export behavior were added as control variables , and the fixed effects of ownership , industry , province and enterprise scale were introduced. The effect of robot capital on product quality is 0.6 , that is , for every 10% increase in robot capital logarithm , the score of enterprise product quality competitiveness can be increased by 0.6% .

However , China's manufacturing factor endowment is different from that of developed countries. The skill level of labor force and the resource allocation ability of enterprise managers are also different. Advanced machinery and equipment can produce large positive effects in developed countries , but not necessarily for Chinese manufacturing. The development has the same promotion effect , and it may even be difficult to match the implementation of the same innovative behavior by advanced technology , which makes it difficult for robot – like advanced technology equipment resources to function. Through the mediation effect , it is found that the improvement of product quality by robots is mainly achieved through innovative mechanisms. Among them , the technological effects product innovation in the positive effect relationship between robot and product quality are 14.7%、16.6% and 21.5% , respectively. That is , after the introduction of robots by enterprises , it is necessary to simultaneously implement corresponding innovation behaviors , carry out the transformation of production line processes represented by process innovations , and the setting of robot function parameters represented by product innovations , in order to improve product richness and better satisfy customers. Demand , and thus improve product quality.

The quality upgrade brought by robots is mainly realized by changing the three dimensions of technological innovation , such as method , process and system. This article proves through detailed data that the robot can improve the quality of the product without simply purchasing it. The robot will bring about the improvement of the production process of the enterprise and influence the quality of the product through the process. Therefore , the enlightenment of this paper is: First , China's strategy of accelerating the promotion of quality and power is a very important task to promote the use of robots in manufacturing enterprises. The use of robots , compared to other methods of quality improvement , has a more significant improvement effect for companies with lower quality levels. In other words , the robot can more certainly improve the

quality level of China's manufacturing industry. To this end , governments at all levels should speed up the development of "manufacturing robot use development strategy planning" , guide enterprises to use robots on a larger scale , and narrow the gap with countries such as Germany , Japan and South Korea. Second , in the technological transformation projects of China's manufacturing industry , it is necessary to highlight the innovation in the use of robots. The reason why robots become a big strategy is very important. The research in this paper proves that the use effect of robots is largely due to the innovation of the process , and it has the function of taking the whole body with the whole body. Therefore , in the technical transformation project , through the guidance of the use of robots , it will change the existing processing methods , production processes and testing methods of the manufacturing enterprises , and then through the process innovation of the process , realize the great transformation of China's manufacturing industry in the digital age. Third , in the scientific research projects of governments at all levels in China , it is necessary to highlight the public investment in the common technology of robots. Objectively speaking , the development , manufacture and use of robots in China are still far from the world's advanced level , including core technologies in materials , operating systems and processing in R&D and manufacturing , as well as network systems in use. In terms of comprehensive support such as intelligent equipment and application skills , these gaps are common technologies , and there is an urgent need to increase government public investment. China should form an autonomous controllable core technology , system application and equipment manufacturing in the manufacture and use of robots as soon as possible.

Keywords: Robotics; Process Innovation; Quality; China Enterprise General Survey.

(责任编辑: 万陆)