

机器人、技术吸收能力与企业产品质量

程虹, 袁璐雯

摘要: 中国自 2013 年起跃升为全球排名第一的工业机器人市场, 机器人的引进是许多企业实现技术进步、走向高质量发展的重要渠道。本文运用 2018 中国企业——劳动力匹配调查 (CEES) 数据, 探讨机器人对于中国企业产品质量的影响并试图通过理论对其异质性影响做出一定的解释。研究发现: 企业引进工业机器人显著提高了企业产品质量, 基于标准话语权的检验同样证实了工业机器人提升产品质量的效应。机制分析表明, 工业机器人提升产品质量收到技术消化吸收能力的影响。无论是从现有创新水平、消化吸收支出还是从企业创新行为来衡量的吸收能力看, 在那些吸收能力不足的行业, 引进机器人对产品质量都具有负效应或者没有显著的正效应。因此, 应当培育企业多层次技术吸收能力, 推行差别化机器人引进政策, 落后行业应加强自身吸收能力的积累, 而先进行业更加侧重自身研发创新能力的提升, 才能真正发挥机器人对于产品质量的作用。

关键词: 工业机器人 产品质量 技术吸收能力

一、问题提出

工业机器人 (以下简称机器人) 是面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器人, 能够依靠电脑程序预先编程或人工智能技术设定而自动执行工作, 实现各种制造功能 (ISO, 2014) 根据政策研究者的理解, 作为工业 4.0 的重要代表, 机器人的使用将引发人类在制造业领域生产流程、组织管理、产品质量、创新路径、劳动力需求等方面的一系列变革, 对人类经济活动产生重要影响 (IFR, 2018)。由于出口产品的单位价值可以直观地衡量产品质量的差异, 国内外许多学者都使用出口来衡量出口产品质量水平 (Flam&Helpman,1987; Hummels&Klenow,2015; Chen&Swenson,2007; Kalina&Zhang,2009; 李坤望&王有鑫, 2013; 殷德生, 2011)。因此, 本文首先鉴于统计数据数据的约束, 利用国家统计局 2008-2016 年出口主要货物的数量和金额粗略地取算数平均数大致表示了近 10 年来出口产品质量的趋势。通过与国际机器人协会 (IFR) 公开的中国机器人使用台 (套) 数对比发现, 以主要出口货物为代表的我国产品的质量随着机器人台 (套) 数的增加而呈现出逐年上涨的趋势, 但增长的幅度在 2013 年之后

却变得较为平缓，如图 1 所示。那么我国产品质量的提升是否确实与企业大量引进机器人有关？机器人对于产品质量的影响后续动力不足是否受到其他因素的干扰呢？

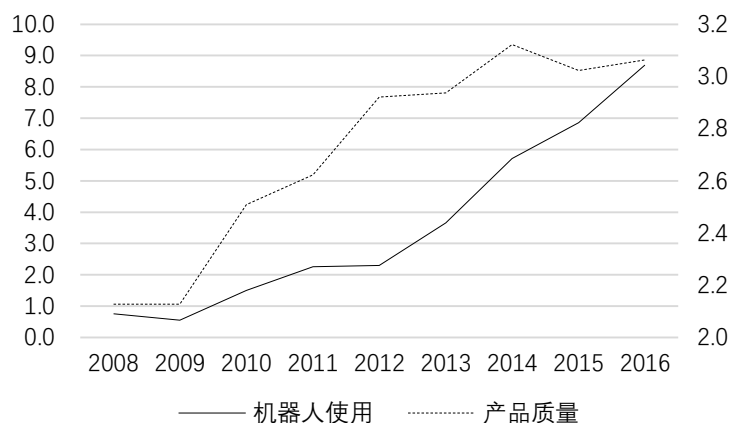


图 1 产品质量与机器人使用台套数

数据来源：IFR，国家统计局

现有研究机器人的文献，大多集中在机器人对于生产率和劳动力就业两个方面，且多使用的是 IFR 的数据，IFR 所披露的仅仅是销售端的宏观总体数据，能够对机器人的一般性发展趋势进行简单描述，但无法深入剖析中国机器人在使用机器人方面的细节，且鲜有针对机器人的引进对产品质量的影响进行专门的研究，仅有的两支文献仅提到了相关内容。Acemoglu(2018)认为，机器人在执行体力性、程序性工作任务的（例如焊接、刷漆、组装、包装、码垛等）上具有更好的精确性和稳定性，能够促进产品精度、产品多样性和差异化的有效提升，并将持续促进企业生产效率的持续提高。Othman(2016)的文献提到，将产品开发与数字和实物生产相结合，与产品质量的大幅度提高有关，而且显著提高了产品质量。机器人能够在没有光和热的情况下持续生产，减少停机时间以及减少工艺过程中不同生产线之间的原料搬运和停顿时间，减少单位产品的生产时间，在德国，data driven 供应链可以将生产过程加快约 120%，以交付订单所需的时间和将产品推向市场的时间缩短 70%。机器人能够自动的监测每一个生产出来的物品，而不需要再用传统的抽样方式来监测误差，而机器人的纠错功能可以实时地调整生产过程，这些同步到配套电脑上的数据还可以使用“大数据”技术进行收集和分析，以识别和解决正在进行的某些小问题，质量的提高在应用的生产标准以及管理方面起着重要的作用。机器人允许大规模定制，提高生产的灵活性和速度这种大规模定制将允许生产小批量前夕。由于具有快速配置机器以适应客户提供的规格和添

加剂制造的能力，所以小到单个独特的产品。这种灵活性也鼓励创新。由于原型或新产品可以快速生产，而不需要复杂的重新加工或新生产线的设置。因此，它可以生产一个产品和多种变体，减少使用 Industry4.0 技术的库存。但 Acemoglu 使用的仅是 IFR 销售数据，而 Othman 只提出了机器人影响产品质量的几个可能性解释，但并没有给出实证的结果。

创新能力和质量效益是建设制造业强国的关键。企业除了进行自主创新以外，通过引进和模仿发达国家的现金技术和和购买先进生产设备，根据中国制造业的要素禀赋和市场结构，将发达国家先进的技术和设备进行适配和改造，使之与我国制造业所处的市场环境相适宜，也不失为一种提高制造业胡子良和效益的良方。赵志耘（2007）发现技术引进通常以设备引进为主要形式，1990-2005 年间蕴含在设备资本中的技术进步率保持在 51%-60%以上。然而，盲目引进先进设备是不可取的，中国制造业要素禀赋与发达国家不同，劳动力的技能水平、企业管理者的资源配置能力也不同，适宜发达国家的机器设备被引进后，不一定能够对中国制造业的发展产生促进作用，甚至可能由于先进的的技术难以匹配同等的技术吸收能力，从而抑制制造业发展。发达国家的先进技术适用于其具有较高的技术吸收能力，大量发展中国家由于低人力资本、低创新能力、低管理水平而限制对于技术引进的吸收，从而导致类似机器人的先进技术设备难以发挥作用（Benhabib&Spiegel,1994;Xu,2000）技术创新的不足制约了企业产品更新换代的速度以及产品质量水平的提升，使企业无法满足不断变化的市场需求以及形成差异化的质量竞争优势，进而导致企业经营绩效的下降（程虹，2016）。

一些文献考察了技术引进对于技术输入地的经济增长、生产率、创新绩效等的影响。其中一些研究强调技术溢出的条件性，特别是消化吸收能力的影响，认为消化吸收能力显著影响了先进技术的溢出效应，那些吸收能力越强的地区，前沿技术对本地区的生产率、技术水平、TFP 等的溢出效应最大。这些文献突出了对于外来引进的先进技术和和设备的消化吸收能力的作用，但始终是宏观的地区国家层面，没有将视野聚焦到微观企业层面，更没有直接针对产品质量进行分析。

本文研究机器人的引进在影响产品质量时面临的异质性吸收能力的约束，在以下方面区别于现有文献：（1）首次运用机器人消费端数据，对中国这样的发展

中国家进行研究，重点研究机器人引进对于制造业企业的影响，不同于现有文献主要关注发达地区先进的技术引进对于地区层面的经济增长、生产率提升的影响；

(2) 基于企业创新行为对于技术引进的吸收能力的进行质性分析。

二、理论框架

(一) 机制分析

对于先进技术的消化吸收，需要企业有相配套的劳动力技能水平、资源整合的管理水平和技术创新能力等，本文讨论的的消化吸收能力，专指企业的创新能力。技术的消化吸收能力影响机器人对产品质量的作用主要有以下两种机制，如图 2 所示。

第一种机制来源于企业的创新基础。利用边际效应递减原理，企业的初始创新水平较低的地区，由于可以学习借鉴和和模仿外来先进技术等，具有一定的后发优势，可以更快的速度吸收机器人的先进技术，追赶其他先进的企业。不过这种情况只是一种潜在的可能性，一般还需要有一定的条件限制，例如创新落后的企业需要具备一定的管理和和人力资本水平，那么初始创新水平较低的地区是否存在这种后来居上的效应，是有待本文检验的一个命题。

第二种机制来源于企业的创新投入。当企业引进机器人，企业可利用的创新资源增加，先进技术带来的效应会向外扩展。机器人对于企业内部的创新投入主要有两方面的影响：(1) 创新互补效应，一方面，引进机器人，可以增加企业的技术存量和多样性，从整理上丰富企业的技术资源，企业的技术能力得以促进，创新投入的效率也得以提高；另一方面，引进机器人，可以与企业内部的相关技术形成互补，形成“引进——创新——再引进——再创新”的良性循环，从而推动创新的再投入。(2) 创新替代效应，从创新供给的角度来看，如果一个企业将资金更多地投入引进机器人，那么投入到自主研发的资金就会相对减少，这种对于机器人的投入减少了自主研发的共供给，不利于创新作用的发挥。从创新需求的角度来看，如果一个企业需要的技术都已经通过引进机器人来完成，那么这种创新产出替代减少了对于企业自主研发投入的需求激励，企业没有动力再对自主创新进行投入，认为只要能够使用，，发挥机器人的先进技术生产力就足够了。这样反而会挤出企业创新，不利于创新作用的发挥。当创新的互补效应大于替代

效应时，引进机器人能够对企业的创新产生正向影响，从而对产品质量呈现正效应，反之，当创新互补效应小于替代效应时，引进机器人对企业创新产生负向影响，对产品质量也呈现出负效应或者无法对产品质量发挥作用。因此，机器人的引进最终是否能促进企业产品质量的提高，取决于那一种效应占优；而判断哪一种效应占优，需要考察企业对于机器人这种先进技术的需求动机和消化吸收能力。

（二）技术需求动机、机器人与产品质量

企业引进机器人有诸多原因。从技术创新的角度来看，可以归结为两个层次的技术需求动机。一是技术创新基础的动机，即由于自身产品质量低下或技术数量缺乏，通过直接购买机器人的方式，来弥补自身的技术不足，这是很多后发企业引进机器人的初中，认为机器人的引进能够迅速帮助企业实现质量提升，是一种浅层次的技术需求；二是模仿创新的动机，即通过对机器人技术的消化、吸收、改造和再创新，由外而内地提高自身的技术能力，促进企业产品质量的提升，这一动机在后发企业中也常见，是这些企业快速追赶先进企业的重要力量，这一动常常表现为干中学，是一种较高层次的技术需求。

这两个层次的技术需求动机，都会同时产生创新互补效应和替代效应，但效应的强度和方向有一定的差异。第一层次的技术创新基础的动机更侧重于对于机器人的直接使用，可以看做是的技术消费。在这种动几下，机器人对于企业创新的互补效应较弱，替代效应较强。第二层次的模仿创新动机，可以看做是长期的技术投资，而机器人作为资本体现式技术进步，能够使创新互补效应更加明显，企业通常会投入大量的研发经费用于对机器人进行消化吸收，以机器人为基础做更深一层次的创新，从而推动企业产品质量的不断提高。由此可见，如果某个行业中多数企业都是由于第一层次的动机引进机器人，则创新替代效应可能大于创新互补效应；如果某个行业汇总多数企业都是由于第二层次的动机引进机器人，则创新替代效应可能小于创新互补效应。

（三）技术消化吸收能力、机器人与产品质量

创新互补效应或替代效应的发挥，还取决于企业技术消化吸收能力的大小。技术消化吸收能力指的是获取、学习和利用外部先进技术的能力。企业引进机

机器人其实引进的是一种显性的技术，而真正能够驱动产品质量的是隐藏在显性技术背后的隐形技术，对隐形技术知识的获取、依赖于技术的消化吸收能力。一方面，技术消化吸收能力通过促进企业对机器人这种先进技术的吸收，可以提高产品质量较差的企业对创新能力的培养，从而促进产品质量的提高；另一方面，当一个企业缺乏必要的技术消化吸收能力时，可能难以对于机器人技术进行有效的消化、吸收、转化和再创新，更不能借此来推动产品质量的提升，可能会陷入“引进——倒退——再引进——再倒退”的低水平循环。

因此，机器人对于企业产品质量的影响，可能具有异质性的特征，也就是说，机器人与产品质量并不是呈现出简单的线性正或负相关关系，而是由于技术消化吸收能力不同而有所不同，在吸收能力不同的企业，这二者之间的关系的大小甚至方向都会存在差异。

最后，技术需求动机和技术消化吸收能力可能并不是彼此分割的，一般来说，当某个行业中大多数企业都是基于第一层次的技术需求动机而引进机器人时，往往也不大重视对于机器人技术的消化吸收，因此表现为技术吸收能力差，机器人的创新替代效应大于互补效应，不利于企业产品质量的提高。反之，如果某个行业汇总多数企业都是基于第二层次的模仿创新需求动机而引进机器人，则会更加重视对于现今技术的消化吸收，因此相应的研发投入也会更多，技术消化吸收能力也会提高，此时机器人的引进带来的创新替代效应小于互补效应，会促进企业产品质量的提升。

三、模型构建及数据描述

（一）数据来源

本文使用的是 2018 年中国企业——劳动力匹配调查（CEES）数据（简称“CEES2018”），CEES2018 是 2018 年武汉大学联合斯坦福大学、香港科技大学和中国社会科学院在广东、湖北、江苏、四川和吉林（在中国地理上的东南西北中各选取了一个较具代表性的制造业省份）开展的第三次大型调查，样本企业所有制、行业分布与国家统计年鉴分布相近，能够代表我国制造业企业转型升级现状。CEES2018 采用多阶段分层抽样方法，在全国五省一共抽取了 101 个县（区），在每个县（区）计划调查 25 家企业，每家企业根据规模大小随机抽取 5-15 名员工，

其中中高层员工占比为 30%。为了保证样本与 CEES2016 调查数据的可追踪性，在广东和湖北两省采用了 2016 年国家企业信用信息公示系统中的从业人数作为依据进行 PPS 抽样，江苏、四川和吉林三个新增省份基于 2018 年最新上报的从业人数进行抽样。值得强调的是，CEES2018 是全国首个对我国制造业企业转向高质量发展过程中引进和使用机器人的现状进行了深入的调查，获得了微观企业详实的一手数据。本文使用了最新发布的数据，相对于先前的研究来说，首次从微观需求端的角度来研究企业引进机器人、使用机器人从事不同的工作任务，究竟对企业本身带来怎样的影响，数据更加丰富，覆盖面更加广泛，最终成功地获得 2091 份有效的企业问卷，20094 份有效的员工问卷，能够代表全国制造业企业群体。根据研究目的与需要，我们剔除了不相关的样本，一共选取了 2019 个样本企业作为本文的研究对象。

（二）指标选取

1. 被解释变量（Y）

产品质量定义的界定是研究质量的先决条件，根据 iso9000 的规定，质量是“一组固有特性满足需求的能力”，既包含产品的可靠性、耐用性、安全性等固有客观属性，也包含满足顾客需求的程度，是主体与客体的统一。随着定义的演进，对质量的评价越来越倾向于主体的满意。另外，考虑到产品质量不仅仅是一个静态，而是一个不断动态演进的过程。且我国有严格的质量检测系统，因此大部分的产品质量一次性检验不合格率都能够达到国家标准，但质量是多维度的，不能用单一的特点来界定产品质量（Deming, 1982）。因此，在本项研究中，为了更好的衡量我国制造业产品质量，本文参考了李唐（2018）借鉴 Bloom 等（2013）的做法，将从产品更新换代速度、产品品种丰富程度、产品的价格水平、产品的品牌影响力大小、产品的顾客满意度 5 个维度测量企业产品质量在市场上的综合竞争力，并以此设计对应的调查量表，每一个问项按照 0-1 等距赋值让被放置进行评价，最后将 5 项指标数据归一化处理为 0-1 产品质量竞争力得分，并以此作为企业产品质量的代理变量。

2.解释变量 (X)

机器人作为解释变量,其在既往研究中识别方法各异。但不可否认的是,当一个企业购买了机器人,代表着企业拥有了以机器人为形态的资本,资本能够对企业生产产生影响,且机器人作为一种通用机器设备,一旦购买将长期持续地发挥作用,因此,仅仅用机器人的现值来解释变量,会低估机器人的影响。因此本文采用机器人资本作为解释变量,根据理论界普遍采用永续盘存法对机器人的资本存量进行估计,该方法将资本存量的模型简化为:

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

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, δ_t 为 t 年的机器人资本折旧率。根据 CEES 数据显示,企业引进的机器人平均使用年限为 11 年,因此可以粗略地推断机器人的折旧率为 9% 左右,这符合通常意义上机器设备的使用年限在 10-16 年期间的平均水平。因此,将 δ_t 设为 0.09。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,因此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。若企业没有引进机器人,那么这一变量的值为 0。

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

3.控制变量

为降低解释变量以外的因素对回归结果造成偏差,本文遵循文献的传统,在模型中加入企业的各项特征来获得机器人的使用对产品质量的净效应。本文选取了生产员工的教育水平、所有制、是否出口、企业规模几个员工特征和企业特征作为控制变量。由于生产员工直接面对的就是产品的生产过程,因此产品质量很大程度上来源于生产员工的人力资本,本文采用大学本科学历的比例作为生产员工的教育水平代理变量;本文还控制了企业的所有制形式,分为国有、民营、港澳台和外资企业;企业规模按照《关于印发中小企业划型标准规定的通知》(工

信部联企业〔2011〕300号)中的规定,基于企业的的主营业务收入进行划分。一般来说企业规模是按照企业的总人数进行划分,而本文研究的对象是机器人,机器人是企业重要的资产之一,因此,在划分企业规模时,也同样选择了资本类的变量,即企业的主营业务收入而非企业员工人数,按照这种方法将企业规模划分为小微型、中型、大型和特大型企业四类。

4.中介变量

由于 CEES 调查了近 3 年的企业创新行为,就包括企业的专利、新产品等等。专利申请数或者授权数可以较好地度量企业的创新产出,但是中国专利以实用新型专利和外观设计专利为主,真正代表创新能力的发明专利相对较少,且专利很有可能是企业的母公司或者外国企业申请的,因此难以刻画企业内部的创新能力,相对于专利,新产品的销售收入或者新产品产值作为价值指标,能够更好地反映创新产出的价值,此外新产品销售收入更容易受到来自市场的外部条件影响,因此本文用新产品销售额来代表创新活动的产出,用新产品销售额增长率来代表企业的创新动力。但调查数据中其中没有直接调查企业的新产品产值,因此本文通过新产品销售比例乘以企业主营业务收入的公式,算出 2015-2017 年企业的新产品销售额,其中企业主营业务收入可以近似地等同于企业的销售总收入。本文用 2015 年的新产品销售额代表企业期初的创新水平,用 2017 年的新产品销售额代表企业目前的创新水平,通过滞后两期的差分可以计算出企业的新产品销售额增长率。另一方面,本文选取了是否有产品创新和是否有工艺创新两个哑变量作为企业创新行为的代理变量,并用企业的研发投入作为企业消化吸收机器人先进技术的配套能力。关于研发投入的资金是否需要资本化的问题,本文做了以下考虑。本文采用了研发投入的流量而非存量进行度量,原因在于,本文的创新活动是用新产品销售额这种显性的创新来度量的,相对于专利,它是一种相对短期的显性创新活动,因此更多地收到当前时期的投入状况的影响,因此本文采用研发投入的流量而非存量来研究其对短期机器人作用的影响。主要的变量特征如表 1。

表 1 主要变量的描述性统计

变量	变量含义	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
QUALITY	产品质量	2019	0.69	0.21	0	1
CRIRIGHT	是否有标准委员会任职	2019	0.23	0.47	0	2

ROBOT	是否使用机器人	2019	0.16	0.36	0	1
LNROBOTK	机器人资本的自然对数	2019	0.86	2.27	-1.45	12.67
EMPLOEDU	生产员工教育水平	2019	2.01	7.21	0	100
LOGNP	2017年新产品对数	2019	7.46	6.28	0	26.90
LOGNP0	2015年新产品对数	2019	6.05	6.23	0	26.16
NPRATE	新产品产值增长率	2019	0.42	2.47	-0.83	67.81
PROINNOV	是否有产品创新	2019	0.58	0.49	0	1
TECHINNO V	是否有工艺创新	2019	0.69	0.46	0	1
LOGRD	研发投入的自然对数	2019	2.79	3.12	-0.69	19.17

（三）模型构建

为检验机器人对企业产品质量的影响，本文设定如下计量模型：

$$QUALITY_i = \alpha_0 + \alpha_1 LNROBOTK_i + \alpha_2 X_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

公式（2）中， $QUALITY_i$ 表示企业*i*的产品质量状况， $LNROBOTK_i$ 表示企业*i*使用机器人资本的自然对数， X_i 表示一系列影响企业产品质量的控制变量，包括生产员工受教育水平、企业所在地区、国际贸易行为、所有制、二位数字行业、企业规模等变量， α 为待估参数， ε_i 为随机扰动项。

（四）数据描述

为了更加直观地观察机器人对于产品质量的分布特征，本文将全部样本企业按照是否机器人分为了两个组，并对两个组之间机器人对产品质量的影响分布的核密度函数进行了估计，由图 2 可知，有机器人的企业的产品质量曲线明显右移，说明有机器人的企业在产品质量竞争力的得分上显著高于没有机器人的企业。这也佐证了本文的观点，证明企业产品质量的提高很大概率上是由于引进机器人所导致的。

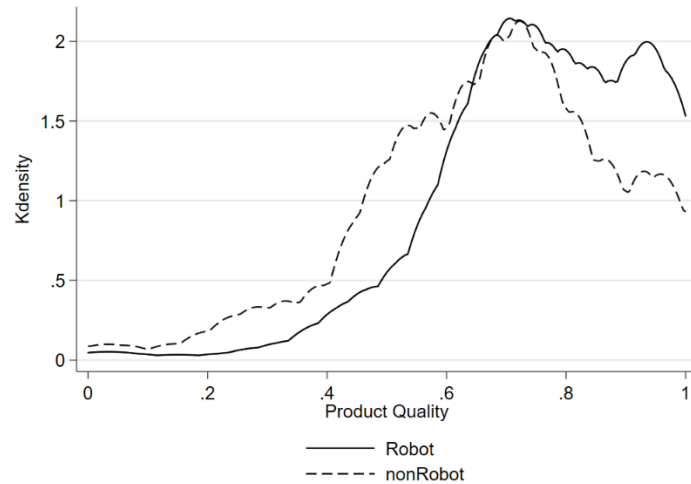


图 2 机器人对产品质量的核密度图

本文接下来将企业分为不同的省份、所有制、外贸行为、行业和规模，发现机器人对于产品的影响具有明显的异质性。如表 2 所示，分不同的省份来看，有机器人的企业中，五省的产品质量竞争力得分均在 0.75-0.8 之间，说明五个省份之间的差异较小，江苏省的产品质量竞争力得分为 0.8 分，为所有调查省份中最高，可能的原因为江苏有大量出口企业，本身产品质量水平较高所致。而对比有无机器人时，四川省的企业在引进机器人之后，产品质量竞争力比没有机器人的企业高出 19%，是调查省份中提升跨度最大的省份，可能的原因为，四川作为西部工业重省，本身经济基础较为薄弱，产品质量水平较其他几个省来说较低，那么根据边际效应递减原理，企业在引进机器人之后会大幅度提高落后企业的产品质量，形成一定的质量追赶效应。分不同所有制性质来看，有机器人的企业中，外资企业的产品竞争力得分最高，达到了 0.82，可能的原因是外资企业掌握了先进的技术并具有较高的技术吸收能力，配备较高的人力资本和管理水平。而对比有无机器人时发现，国企和外资企业在引进机器人之后对于产品质量的促进作用是有限的，但是二者的原因可能不尽相同。国企由于自身特殊的属性，可能会获得更多的机器人补贴，因此国有企业中的机器人可能使用效率并不高，因此对于产品质量提升的作用有限。而外企在没有机器人的情况下，产品质量已经高于有机器人的国有企业，因此上浮空间有限。分不同的外贸行为来看，有出口的企业，在引进机器人之后，产品质量不仅比没有出口的企业高，且提升的幅度也大大高于没有出口的企业，可能的原因是出口的企业拥有更多与发达国家进行交流的机会，更加容易将发达国家先进的技术水平和吸收能力引入到国内，从而

提高自身技术吸收消化能力，并促进产品质量的不断提升。分不同的企业规模来看，规模越大的企业，引进机器人对于产品质量的提高幅度也越大，且产品质量的水平也就越高。可能的原因是，产品质量一定程度上代表了企业的市场影响力，规模大的企业具有更加强大的市场影响力，并更加注重自己的企业形象，而产品质量是一个离市场很近，离消费者很近的东西，因此规模大的企业更加注重对于产品质量的提高。

表 2 不同类型企业的产品质量竞争力对比

	全样本 (N=2019)	有机器人 (N=314)	没有机器人 (N=1705)	样本量
	Mean (Std.)	Mean (Std.)	Mean (Std.)	Mean (Std.)
1. 省份				
广东	0.68 (0.20)	0.76 (0.17)	0.67 (0.20)	492
湖北	0.70 (0.21)	0.76 (0.19)	0.69 (0.21)	483
江苏	0.74 (0.20)	0.80 (0.16)	0.72 (0.21)	367
四川	0.65 (0.19)	0.76 (0.20)	0.64 (0.19)	327
吉林	0.69 (0.23)	0.75 (0.21)	0.68 (0.23)	350
2. 所有制				
国有	0.72 (0.22)	0.76 (0.21)	0.71 (0.22)	176
民营	0.67 (0.21)	0.74 (0.19)	0.67 (0.21)	1515
港澳台	0.74 (0.18)	0.80 (0.15)	0.72 (0.19)	175
外资	0.79 (0.15)	0.82 (0.13)	0.77 (0.16)	153
3. 出口行为				
有出口	0.67 (0.22)	0.74 (0.20)	0.66 (0.22)	728
没有出口	0.74 (0.18)	0.79 (0.16)	0.73 (0.19)	1291
4. 行业				
劳动密集型	0.68 (0.22)	0.68 (0.17)	0.79 (0.22)	739
资本密集型	0.67	0.71	0.66	546

	(0.21)	(0.24)	(0.21)	
技术密集型	0.73	0.78	0.71	710
	(0.19)	(0.16)	(0.19)	
5.企业规模				
小微规模	0.58	0.59	0.57	199
	(0.24)	(0.18)	(0.25)	
中等规模	0.63	0.61	0.63	432
	(0.21)	(0.28)	(0.21)	
大规模	0.72	0.73	0.72	897
	(0.18)	(0.18)	(0.18)	
特大规模	0.75	0.83	0.72	491
	(0.20)	(0.14)	(0.21)	

四、实证结果分析

(一) 基准回归

表3报告了分步回归结果。方程(1)至方程(4)展示了以企业产品质量竞争力作为产品质量衡量标准的回归结果。方程(1)表明,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产品质量,说明企业引进机器人提高了产品质量。且机器人资本的对数每提高1%,产品质量提升1.44%。但基于研究稳健性的考虑,为了防止回归结果受到其他相关因素的影响,方程(2)和方程(3)依次添加代表员工特征的生产员工教育水平和代表企业特征的企业所有制、企业规模、企业外贸行为作为控制变量。回归结果显示机器人无一例外地在1%的统计水平下显著且为正。其中,方程(3)中,在加入了企业特征的控制变量后,机器人对产品质量的影响略有下降,对产品质量的影响仍然在1%的显著性水平下达到0.68%,在方程(4)中,加入了地区固定效应和行业固定效应,机器人资本的对数每提高1%,产品质量提升0.38%。该结果表明,当采用产品质量竞争力得分作为标准衡量我国产品质量时,引进机器人,增加机器人的资本能够明显地推动产品质量的提高。

表3 基准回归

变量	QUALITY			
	(1)	(2)	(3)	(4)
LNROBOTK	0.0144*** (8.641)	0.0142*** (8.478)	0.00681*** (3.941)	0.00376** (2.023)
EMPLOEDU		0.00187*** (3.100)	0.00120** (2.051)	0.00106 (1.626)

OWNSHIP			0.0184*** (3.132)	0.00841 (1.266)
SIZE			0.0503*** (8.667)	0.0498*** (8.206)
EXP			0.0412*** (4.456)	0.0438*** (4.202)
地区固定效应				YES
行业固定效应				YES
CONS	0.680*** (136.729)	0.677*** (132.050)	0.538*** (33.168)	0.659*** (14.199)
Observations	2,019	2,019	1,995	1,995
R-squared	0.025	0.029	0.103	0.235

注：括号内为稳健性标准差，***表示 $p < 0.01$ ，**表示 $p < 0.05$ ，* 表示 $p < 0.1$

（二）稳健性检验

衡量一个企业的产品质量水平还需要看这个企业是否符合一定的标准水平，从企业层面来看，产品质量还取决于企业是否在标准的制定上是否有话语权，CEES 调查了企业是否担任了标准技术委员会（TS）或分技术委员会（SC）的主任委员职务，我国的产品标准分为两个大类；一类是以企业市场地位决定的国际标准和团体标准的制定，另一类是以企业行政级别决定的国家标准、行业标准和地方标准的制定。本文假定国际标准和团体标准在制定时更能体现企业的整体产品质量水平，代表了企业产品质量的先进程度。因此，本文采取“企业是否在国际标准或团体标准的技术委员会担任主任委员职务”作为企业产品质量的代理变量进行稳健性检验。

表 4 报告了机器人对于企业标准话语权的影响。方程（1）和方程（3）分别替换了被解释变量和解释变量，其中被解释变量替换为企业在标准制定上的话语权，解释变量替换为是否有机器人的哑变量。方程（2）和方程（4）在控制了影响产品质量的员工特征、企业特征并采用了地区固定效应和和行业固定效应之后，机器人的使用以及机器人资本的系数都略有下降，但仍然在至少 10% 的显著性水平下为正，其中，有机器人的企业称为国际标准或团体标准技术委员会主任的比例比没有机器人的企业高出 8.4 个百分点。由此可见，若是运用制定标准的话语权来衡量企业的产品质量，仍然可以得到与产品质量竞争力得分来衡量相同的结论，确保了本文研究的稳健性。

表 4 稳健性检验

VARIABLES	CRIRIGHT			
	(1)	(2)	(3)	(4)
LNROBOTK	0.0167*** (3.285)	0.00946* (1.792)		
ROBOT			0.125*** (3.874)	0.0835** (2.485)
员工特征		YES		YES
企业特征		YES		YES
地区固定效应		YES		YES
行业固定效应		YES		YES
CONS	0.211*** (19.407)	0.0961** (2.443)	0.206*** (19.006)	0.100** (2.546)
Observations	2,019	2,019	2,019	2,019
R-squared	0.007	0.022	0.010	0.024

注：括号内为稳健性标准差，***表示 $p < 0.01$ ，**表示 $p < 0.05$ ，* 表示 $p < 0.1$

（三）机器人对产品质量影响的行业异质性分析

CEES 调查显示，机器人承担的主要工作任务有焊接（24%）、组装（15.6%）、搬运（13.4%）、包装（8.4%）、码垛（8.0%）、产品检验与测试（5.3%）、表面贴装（4.2%）、刷漆（3.8%）等，其中根据所属的行业生产产品的工艺流程和产品自身特性不同，具有行业异质性。因此，本文分行业对机器人对产品质量的影响做了逐一检验，检验结果如表 5。

由于在调查中，烟草制品业的企业样本数量太少，无法进行回归；皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业；石油加工、炼焦和核燃料加工业；其他制造业、废弃资源综合利用业等 4 个行业没有一家企业引进了机器人，因此，这里将剔除这 5 个行业，对其他 26 个行业进行逐一的回归处理，将主要解释变量机器人资本的自然对数的系数进行提取，并按照正负号进行分类，由于回归的次数过多，因此正文中不汇报回归表，仅将解释变量的系数分类后绘制成表 5 汇报如下。可以看到，在食品制造业等 17 个行业中，机器人对于产品质量具有正向促进的作用，在农副食品加工业等 9 个行业中，引进机器人反而会负向阻碍产品质量的有效提升。

表 5 各行业引进机器人对产品质量的影响

机器人的使用	制造业行业分布
负向阻碍	农副食品加工业、家具制造业、印刷和记录媒介复制业、非金属矿物制品业、金属制品业、电气机械和器材制造业、酒、饮料和精制茶制造业、非金属矿物制品业、金属制品业
正向促进	食品制造业、纺织业、纺织服装、服饰业、木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业、家具制造业、造纸和纸制品业、印刷和记录媒介复制业、文教、工美、体育和娱乐用品制造业、化学原料和化学制品制造业、化学纤维制造业、橡胶和塑料制品业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼和压延加工业、黑色金属冶炼和压延加工业、通用设备制造业、专用设备制造业、汽车制造业、铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业、计算机、通信和其他电子设备制造业、仪器仪表制造业

那么，究竟是什么因素导致不同行业之间机器人的效应除了有大小之分，还有方向之分呢？根据之前的理论分析，很有可能是因为行业内大多数企业的技术消化吸收能力较差，无法对机器人这种先进技术进行技术配套，导致这样的结果。那么本文接下来将企业按照影响方向的不同分为两个组，并继续探究两个组之间在技术消化吸收能力方面的特征差异。

由前文的理论分析可知，企业的技术消化吸收能力受到了初始创新能力、现有创新能力、创新动力、创新活动和研发投入等变量的影响。表 6 报告了这些变量的组间差异及组内差异，根据 P 值可以看到，仅 LOGNP、LOGRD 和 TECHINNOV 三个变量是在 5% 的显著性水平下成立的。而 NPRATE、PROINNOV 和 LOGNP0 三个变量均不显著。可能的原因是，本文将 2015 年的新产品销售额作为企业初始创新的代理变量，而企业很可能在 2015 年之前就成立了，也就是说，2015 年距今时间过短，无法真正代表企业的初始创新水平，而很有可能代表了企业已经进行了一部分创新之后的水平；NPRATE 代表了企业新产品的增长率，不显著的原因可能是跟企业成立时间相关，如果企业是 2015 年之后成立的，那么虽然它的创新水平比较原始，但所有的产品都是新产品，它的新产品增长率为 100%，这和本文计算新产品增长率的公式有关，本文计算新产品增长率的公式是用“(2017 年的新产品销售额-2015 年新产品销售额)/2015 年新产品销售额”，这显然忽略了一大批 2016 年成立的新企业；而 PROINNOV 不显著的原因可能是这里用的代理变量为“企业是否进行了产品创新”，而产品创新有太多的内涵，外观设计的创新、产品多样性的创新以及产品质量的提高都有可能包含在产品创新的内涵中，而本题容易造成企业填报问卷时的概念混淆。

表 6 企业技术消化吸收能力特征变量的 Bonferroni 统计检验

变量	类型	均值	方差	P 值	自由度
LOGNP	整体	7.468048	6.282401	0.0002	1
	组间		23.70917		
	组内		280.6646		
LOGRD	整体	2.793317	3.123815	0.0432	1
	组间		3.60551		
	组内		139.8382		
TECHINNOV	整体	0.692917	0.461398	0.0435	1
	组间		0.930514		
	组内		20.63432		
NPRATE	整体	0.415772	2.472534	0.2483	1
	组间		4.791414		
	组内		110.9341		
PROINNOV	整体	0.577514	0.494078	0.0502	1
	组间		0.966961		
	组内		22.10504		
LOGNP0	整体	11.96878	2.43076	0.1161	1
	组间		3.816594		
	组内		77.15467		

因此,根据 Bonferroni 统计检验结果表明,LOGNP、LOGRD 和 TECHINNOV 三个组之间的差异较为明显,其他各组之间均无显著性差异。那么企业引进机器人在不同行业之间对产品质量的影响呈现出正负不同效应的原因很有可能是由于现有新产品销售额 LOGNP、配套研发资金投入 LOGRD 和企业进行工艺创新 TECHINNOV 所导致的。

(四) 机器人对产品质量的影响中介效应检验

表7机制验证证实了机器人对产品质量的影响受到了企业创新行为的影响,模型(2)中可以看出,机器人对新产品销售额有显著影响,其中机器人的资本每高1%,新产品销售额会高31.3%,当将机器人资本和新产品销售额同时放入方程(3)中可以发现新产品销售额对产品质量的影响非常显著,而机器人的系数不显著且下降了0.48%,说明机器人通过提升新产品销售额来提升产品质量;模型(4)中可以看出,机器人对研发投入有显著影响,其中机器人的资本每高1%,研发投入会高14.6%,当将机器人资本和研发投入同时放入方程(5)中可以发现研发投入对产品质量的影响非常显著,而机器人的系数不显著且下降了0.5%,说明机器人通过提高研发投入来提升产品质量;这也侧面说明了,机器

人作为先进技术对于目前的中国制造业企业来说，还是互补效应大于替代效应，不但没有挤出研发投入，反而促进了企业的创新活力，增加了研发投入；同样的，模型（6）中可以看出，机器人对工艺创新有显著影响，其中机器人的资本每高1%，企业进行工艺创新的概率会高9.8%，当将机器人资本和工艺创新哑变量同时放入方程（7）中可以发现工艺创新对产品质量的影响非常显著，而机器人的系数显著性明显下降且下降了0.43%，说明机器人通过促进企业进行工艺创新来提升产品质量。

表 7 中介效应检验

VARIABLES	(1) QUALITY	(2) LOGNP	(3) QUALITY	(4) LOGRD	(5) QUALITY	(6) TECHINNOV	(7) QUALITY
LNROBOTK	0.00733*** (4.256)	0.313*** (4.430)	0.00254 (1.350)	0.146*** (3.713)	0.00237 (1.263)	0.0113** (2.485)	0.00307* (1.658)
LOGNP			0.00521*** (7.026)				
LOGRD					0.0124*** (8.736)		
TECHINNOV							0.0975*** (9.667)
员工特征	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
企业特征	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
地区固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
行业固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
CONS	0.532*** (32.676)	6.151*** (3.972)	0.636*** (12.992)	1.327* (1.739)	0.652*** (13.512)	0.603*** (5.156)	0.609*** (12.907)
Observations	2,019	2,019	2,019	2,019	2,019	2,019	2,019
R-squared	0.091	0.228	0.246	0.237	0.253	0.143	0.267

注：括号内为稳健性标准差，***表示 $p < 0.01$ ，**表示 $p < 0.05$ ，* 表示 $p < 0.1$

五、结论

随着中国生产、购买、使用机器人在世界范围内的崛起，机器人究竟为企业带来了什么，是全世界关心的核心问题。本文基于 CEES2018，将研究点聚焦在与经济生活密切相关的产品质量上，探讨企业引进机器人对企业生产的产品质量的影响，并分析了背后的影响机制，研究发现：

就整体而言，企业引进机器人不仅提高了产品质量，还能够提高企业在制定产品各项标准上的话语权。其中，根据不同行业对于先进技术的消化吸收能力不同，机器人对于产品质量的影响有正负效应之分。本文进一步探讨了导致正负效

应的原因，解释机制显示，机器人的作用主要通过提高新产品的销售额、提高企业研发投入和促进企业工艺流程创新三种路径来得以实现。

本文研究发现也给予我们一些有益的启示，首先，中国制造业企业面临着转型升级的巨大压力，令人庆幸的是，机器人的引进，能够帮助企业提高产品生产效率，改善企业的组织管理方式，推动企业产品和工艺流程创新，实现企业转向高质量发展。其次，作为发展中国家，中国制造业企业对于以引进机器人等先进设备为手段的技术进步对企业内部的自主创新投入是互补效应大于替代效应，即机器人的引进促进了企业的创新效率提升，能够让企业持续发挥创新动力，进入到“引进——创新——再引进——再创新”的良性循环中去。

当然，本文也存在一些局限，比如受制于数据的可获得性，本文仅采用了截面数据进行分析，仅在个别变量上做了2年的差分处理。另外，虽然我们尽可能控制了影响企业产品质量的因素，但在控制变量的选取上受到一定的制约，也可能由于遗漏变量，仍可能导致参数估计存在一定的偏差。再者，由于篇幅有限，本文尚未讨论企业技术吸收能力中不同层次对于产品质量的影响，这需要后续研究进一步探讨。