# **附录A 文献综述**

本文研究主要贡献于以下几支文献。

**第一支是机器人应用的经济影响的文献。**其一，由于工业机器人与制造业中执行常规任务的劳动者存在直接竞争，大量文献关注机器人对劳动力市场的影响（Acemoglu and Restrepo，2018，2020；Dauth et al.，2017）。也有部分文章在使用企业层面的机器人数据后，发现了劳动力需求增加效应（Dixon et al.，2020；李磊等，2021）。其二，部分文章关注了机器人应用对企业生产率、产出水平、产品质量等的积极影响（Graetz and Michaels，2018；Bonfiglioli et al.，2020；程虹和袁璐雯，2020）。如同文献，本文也强调了机器人替代效应带来的成本节约对企业生产绩效的积极影响，但本文聚焦于成本节约效应带来的企业创新收益，并挖掘了和机器人协同的其他生产要素（其他资本品、高技能劳动者）如何放大机器人对于企业研发创新的价值。诸竹君等（2022）与本文最为相似。该文也研究了机器人使用对企业创新的影响，但本文与他们存在明显区别。

**第二支是进口投入要素对企业创新绩效影响的相关研究。**利用微观企业数据，大量文献发现了使用进口投入品会促进企业创新的证据，机制包括：其一，进口学习效应（Damijan and Kostevc，2015；Grieco et al.，2022）。其二，质量效应或种类效应（Goldberg et al.，2010；Colantone and Crinò，2014； Chen et al.，2017）。其三，成本节约效应放大企业研发创新的预期收益（Bøler et al.，2015）。其四，进口投入品使国外技术变得便宜，替代了国内企业的研发（Liu and Qiu，2016）。此外，大量文献强调了资本品进口对技术扩散和发展中国家技术进步的重要影响（Eaton and Kortum，2001；Keller，2004）。Mo et al.（2021）进一步发现协同和引致效应只存在于R&D和资本品进口之间，而非中间品进口。还有大量文献发现一国进口消费品会对该国生产同类型产品的企业形成进口竞争压力，从而影响企业创新（Bloom（2016）、Liu et al.（2021）、Autor et al.（2020））。不同于学习效应、质量效应或种类效应等机制，本文和Bøler et al.（2015）一样强调了进口投入要素的成本节约效应。但本文的成本节约源自于机器人对低技能劳动者的替代，而Bøler et al.（2015）源自投入品进口价格下降（如关税下降）。此外，工业机器人作为一种典型的资本品，本文尤其强调了资本品进口对企业创新的显著意义。

**第三支是资本—技能或技术—技能互补的文献。**该支文献强调企业在引进先进的资本或技术后，会补充相应的高技能劳动者（Bresnahan et al.，2002；Katz and Margo，2014；Autor et al.，2015）。作为一种“技能偏向型”或“任务偏向型”的技术进步，机器人的使用具有同样特征（Prettner and Strulik，2020；Dauth et al.，2017；Humlum，2022；余玲铮等，2021）。本文也强调了工业机器人和高技能劳动者之间的互补性，并创新性地关注了这种互补性对企业创新的价值。

# 附录B 理论分析

1. **中间品厂商的最优研发选择过程如下：**

**其一，求解企业的生产要素需求方程：**

 $L\_{i}: \left(1−\frac{1}{σ}\right)p\_{i}MPL\_{i}=W$ (B1)

 $H\_{i}: \left(1−\frac{1}{σ}\right)p\_{i}MPH\_{i}=W\_{H}$ (B2)

 $A\_{i}: \left(1−\frac{1}{σ}\right)p\_{i}MPA\_{i}=r$ (B3)

 $K\_{i}: \left(1−\frac{1}{σ}\right)p\_{i}MPK\_{i}=R$ (B4)

其中，投入要素的边际产出分别为：$MPL\_{i}=\left(1−ϑ\_{i}\right)γ\frac{y\_{i}}{L\_{i}}$，$MPH\_{i}=β\frac{y\_{i}}{H\_{i}}$，$MPA\_{i}=ϑ\_{i}γ\frac{y\_{i}}{A\_{i}}$，$MPK\_{i}=α\frac{y\_{i}}{K\_{i}}$。

 **其二，求解企业总生产成本**

利用式（B1）、（B2）、（B3）、（B4），可得总成本函数为： $TC\_{i}=\frac{1}{\left(1−ϑ\_{i}\right)γ}WL\_{i}$。

**其三，求解企业产品定价方程**

 利用企业利润函数：$Π\_{i}=p\_{i}y\_{i}−TC\_{i}−g\left(I\_{i}\right)$，代入产品需求（$y\_{i}=p\_{i}^{−σ}X$）、最优产出（$y\_{i}=φ\_{i}θ\_{y\_{i}}L\_{i}$）、总成本函数（$TC\_{i}=\frac{1}{\left(1−ϑ\_{i}\right)γ}WL\_{i}$），并对产品价格（$p\_{i}$）求一阶偏导，可得定价：

$p\_{i}=\frac{σ}{σ−1}MC\_{p}$，其中$MC\_{p}=\frac{θ\_{MC}}{φ\_{i}}$，$θ\_{MC}=\frac{W}{\left(1−ϑ\_{i}\right)γθ\_{y\_{i}}}=\frac{W}{γ\left(\frac{W}{R}\right)^{α}\left(\frac{W}{W\_{H}}\right)^{β}\left(\frac{W}{r}\right)^{ϑ\_{i}γ}\left(\frac{α}{γ}\right)^{α}\left(\frac{β}{γ}\right)^{β}}$

**其四，求解企业最优创新水平**

利用企业利润函数，对企业研发（$I\_{i}$）求一阶偏导，可得企业研发（$I\_{i}$）一阶条件

 $−\frac{∂MC\_{p}}{∂I\_{i}}p\_{i}^{−σ}X−g^{'}\left(I\_{i}\right)=0$ （B5）

根据创新的一阶条件（B5），可得如下一阶偏导式：

 $\frac{∂I\_{i}}{∂ϑ\_{i}}=I\_{i}\left[\frac{1}{δ\_{2}}\left(σ−1\right)γln\frac{W}{r}\right]\left[1−\frac{δ\_{1}}{δ\_{2}}\left(σ−1\right)\right]^{−1} $ （B6）

**2. 高技能劳动者（**$H\_{i}$**）对自动化促进创新的放大效应推导：**

 $\frac{∂I\_{i}}{∂H\_{i}}=\left(W\_{H}δ\_{1} \frac{1}{βC\_{2}}\right)^{\frac{1}{δ\_{2}}}\frac{1}{δ\_{2}}H\_{i}^{\frac{1}{δ\_{2}}−1}>0$ $ $ （B7）

**3. 其他资本品（**$K\_{i}$**）对自动化促进创新的放大效应推导：**

 $\frac{∂I\_{i}}{∂K\_{i}}=\left(Rδ\_{1}\frac{1}{αC\_{2}}\right)^{\frac{1}{δ\_{2}}}\frac{1}{δ\_{2}}K\_{i}^{\frac{1}{δ\_{2}}−1}>0 $ （B8）

**4. 企业初始生产率（**$\overbar{φ\_{i}}$**）在自动化促进企业创新中的价值：**

$$\frac{∂I\_{i}}{∂\overbar{φ\_{i}}}=\left(\frac{1}{C\_{2}}\left(\frac{1}{δ\_{1}}\right)^{σ−2}X\left(1−\frac{1}{σ}\right)^{σ}\left[\left(\frac{W}{R}\right)^{α}\left(\frac{W}{W\_{H}}\right)^{β}\left(\frac{α}{γ}\right)^{α}\left(\frac{β}{γ}\right)^{β}\frac{γ}{W}d\_{2}\left(\frac{W}{r}\right)^{γϑ\_{i}}\right]^{σ−1}\right)^{\frac{δ\_{1}\left(σ−1\right)−1}{δ\_{2}−1}}ϕ\left(σ−1\right)\frac{δ\_{1}\left(σ−1\right)−1}{δ\_{2}−1}\overbar{φ\_{i}}^{ϕ\left(σ−1\right)\frac{δ\_{1}\left(σ−1\right)−1}{δ\_{2}−1}−1}$$

 （B9）

# 附录C 实证分析

| **表C1 描述性统计** |
| --- |
| **面板1：变量的描述性统计** |
|  | 解释 | 均值 | 标准差 | 最小值 | 最大值 | 观测数 | 10分位数 | 25分位数 | 50分位数 | 75分位数 | 90分位数 |
| **创新变量** |  |  |  |  |  |  |
| 专利数量 | 申请专利申请数量对数 | 0.0924 | 0.446 | 0 | 8.650 | 2.99E+06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 发明专利 | 发明专利申请数量对数 | 0.0140 | 0.147 | 0 | 8.453 | 2.99E+06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 实用新型专利 | 实用新型专利申请数量对数 | 0.0657 | 0.357 | 0 | 7.192 | 2.99E+06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 外观专利 | 外观专利申请数量对数 | 0.0290 | 0.261 | 0 | 7.465 | 2.99E+06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| R&D | R&D研发支出额对数 | 0.604 | 1.883 | 0 | 15.78 | 8.01E+05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.398 |
| **机器人变量** |  |  |  |  |  |  |
| 机器人存量 | 累计进口机器人金额对数 | 0.0449 | 0.727 | 0 | 18.81 | 2.99E+06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 机器人存量哑变量 | 累计进口机器人取1，否则取0 | 0.00391 | 0.0624 | 0 | 1 | 2.99E+06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **工具变量** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 关税IV | 关税工具变量 | 0.0958 | 1.140 | 0 | 21.86 | 2.20E+06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 美国机器人IV | 美国机器人工具变量 | 1.047 | 4.488 | 0 | 32.35 | 2.20E+06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 金砖机器人IV | 金砖国家机器人工具变量 | 0.892 | 3.791 | 0 | 29.86 | 2.20E+06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 亚洲机器人IV | 亚洲四地机器人工具变量 | 1.147 | 4.675 | 0 | 33.56 | 2.20E+06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **其他变量** |  |  |  |  |  |
| 总资产 | 总资产对数 | 10.03 | 1.457 | 4.710  | 19.43 | 2.99E+06 | 8.319 | 8.993 | 9.878 | 10.89 | 11.94 |
| 财务杠杆 | 企业债务比总资产 | 0.546 | 0.279 | 0 | 1.641 | 2.99E+06 | 0.151 | 0.337 | 0.559 | 0.756 | 0.889 |
| 资本利润率 | 息税前利润比所有者权益 | 0.273 | 0.598 | -2.710 | 6.608 | 2.99E+06 | -0.027 | 0.024 | 0.123 | 0.333 | 0.76 |
| 成本率 | 总成本比销售额 | 0.850 | 0.117 | 0 | 1.166 | 2.99E+06 | 0.706 | 0.8 | 0.875 | 0.926 | 0.963 |
| 劳动力资本比 | 劳动力数量比总资产 | 0.0101 | 0.0121 | 0 | 0.105 | 2.99E+06 | 0.001 | 0.003 | 0.006 | 0.012 | 0.023 |
| 其他资本品 | 进口其他资本品金额对数 | 0.818 | 3.054 | 0 | 22.92 | 2.99E+06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 贸易参与度 | 企业进出口额比销售额 | 14.92 | 42.14 | 0 | 330.7 | 2.99E+06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 55.76 |
| TFP（LP） | 全要素生产率对数形式 | 6.158 | 1.195 | -4.402 | 14.24 | 2.14E+06 | 4.825 | 5.437 | 6.132 | 6.898 | 7.649 |
| 高学历劳动力规模 | 本科及以上职工数的对数形式 | 1.031 | 1.250 | 0 | 9.910 | 2.35E+05 | 0 | 0 | 0.693 | 1.792 | 2.833 |
| 产出品关税 | 行业产出品平均进口关税 | 10.75 | 6.361 | 0 | 63 | 2.89E+06 | 4.6 | 6.88 | 9.202 | 14.41 | 18.75 |
| 投入品关税 | 行业投入品平均进口关税 | 8.324 | 3.207 | 2.323 | 35.82 | 2.89E+06 | 5.713 | 6.55 | 7.284 | 9.126 | 13.48 |
| HHI | 赫芬达尔—赫希曼指数 | 0.0150 | 0.0277 | 0.0005 | 1 | 2.99E+06 | 0.001 | 0.003 | 0.007 | 0.016 | 0.034 |
| 行业贸易参与度 | 行业进出口额比总销售额 | 20.77 | 20.56 | 0 | 224.0 | 2.99E+06 | 2.465 | 7.332 | 14.75 | 28.03 | 45.37 |

**表C1 描述性统计(续）**

|  |
| --- |
| **面板2：主要变量的相关系数** |
|  | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) |
|  (1) 专利数量（ln） | 1.000 |
|  (2) 机器人存量（ln） | 0.045 | 1.000 |
|  (3) 总资产（ln） | 0.236 | 0.110 | 1.000 |
|  (4) 劳动力资本比 | -0.088 | -0.033 | -0.498 | 1.000 |
|  (5) 财务杠杆 | 0.005 | -0.015 | 0.029 | -0.027 | 1.000 |
|  (6) 资本利润率 | -0.017 | -0.014 | -0.087 | 0.122 | 0.047 | 1.000 |
|  (7) 其他资本品（ln） | 0.115 | 0.207 | 0.293 | -0.107 | -0.032 | -0.055 | 1.000 |
|  (8) 产出品关税 | -0.042 | -0.018 | -0.106 | 0.143 | -0.014 | 0.005 | -0.049 | 1.000 |
|  (9) 投入品关税 | -0.047 | -0.018 | -0.091 | 0.134 | -0.002 | -0.016 | -0.030 | 0.649 | 1.000 |
|  (10) HHI指数 | 0.041 | 0.010 | 0.046 | -0.052 | 0.016 | -0.021 | 0.062 | -0.011 | 0.039 | 1.000 |
|  (11) 行业贸易参与度 | 0.054 | 0.078 | -0.017 | 0.099 | 0.028 | -0.049 | 0.222 | -0.050 | -0.001 | 0.090 | 1.000 |

注：面板1和面板2中，1. 使用ln（1+ *x*）衡量变量的对数形式。2. 部分变量存在极端异常值，全文对成本率、杠杆率、贸易参与度、劳动力资本比、资本利润率进行0.5%截尾处理，而其他变量如关税、各类规模（取对数）及行业统计量基本不存在极端值现象，故不做截尾处理。3. 金砖国家包括：巴西、南非、印度、俄罗斯，亚洲地区包括韩国、新加披、中国台湾、中国香港。面板2汇报了本文基准回归中各主要变量之间的相关系数。其中，机器人存量与一些企业经营变量存在一定的相关关系，例如，机器人存量与企业总资产的相关系数为0.11，与其他资本品进口额的相关系数为0.207，因此本文利用滞后企业变量作为控制变量的设定具有合理性。另外，控制变量之间并不存在明显的强相关关系，因此实证回归中不存在严重的多重共线性。

| **表C2 计数模型、专利的其他对数形式变换的检验结果** |
| --- |
| 被解释变量 | 专利数量（ln） |
| 稳健性类型 | 负二项回归 | 负二项回归 | 对数变换1 | 对数变换2 | 对数变换3 |
| 解释变量 | （1） | (2) | (3) | (4) | (5) |
| 机器人存量（ln） | 0.0347\*\*\* | 0.0058\* | 0.3036\*\*\* | 0.0314\*\*\* | 0.0431\*\*\* |
|  | (12.47) | (1.93) | (3.88) | (7.95) | (7.42) |
| 企业及行业控制变量 |  | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 观测值 | 494,316 | 371,171 | 90,108 | 2,050,024 | 2,050,024 |
| 固定效应 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 |
| *F*统计值 |   |   | 23.46 | 458.7 | 451.4 |
| 组内*R*2  |   |   | 0.00487 | 0.00440 | 0.00420 |

注：1. 样本期间为2000至2013年。 2. 鉴于专利数量是计数数据，参考Sun et al.（2020），第（1）、（2）列以负二项最大似然估计法进行检验。3. 借鉴Liu and Ma（2020），（3）—（5）列对专利数量采用其他形式的对数变换，其中变换1为$ln(x+(1+x^{2})^{0.5})，$变换2$为ln(x+0.01)$，变换3为$ln(x+0.1)$。

|  | **表C3 亚洲机器人、金砖机器人、滞后一期机器人工具变量检验** |  |
| --- | --- | --- |
| 被解释变量 | 专利数量（ln） |
| 回归方法 | 2SLS | GMM |
| 工具变量 | 亚洲机器人IV | 金砖机器人IV | 滞后机器人 |
| 面板1：第二阶段 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| 机器人存量（ln） | 1.121\*\*\* | 0.353\*\*\* | 0.974\*\*\* | 0.348\*\*\* | 0.028\*\*\* | 0.027\*\*\* |
|  | (8.45) | (4.30) | (8.26) | (4.68) | (8.81) | (8.48) |
| 行业控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 企业控制变量 |  | 是 |  | 是 |  | 是 |
| 固定效应 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 |
| 观测值 | 1801339 | 1768301 | 1801339 | 1768301 | 2050024 | 2050024 |
| F统计量 | 17.173 | 284.533 | 16.842 | 284.366 | 33.990 | 438.774 |
| 弱工具变量KP统计量 | 121.159 | 118.857 | 126.300 | 158.711 | 2928.206 | 2928.175 |
| 不可识别KP统计量 | 154.906 | 151.157 | 161.475 | 202.716 | 1846.270 | 1847.541 |
| 不可识别统计量P值 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 面板2：第一阶段 |   |   |   |   |   |   |
| 亚洲机器人IV | 0.002\*\*\* | 0.005\*\*\* |  |  |  |  |
|  | (11.01) | (10.90) |  |  |  |  |
| 金砖机器人IV |  |  | 0.003\*\*\* | 0.005\*\*\* |  |  |
|  |  |  | (11.24) | (12.60) |  |  |
| 欧洲机器人IV |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 滞后机器人IV |  |  |  |  | 0.612\*\*\* | 0.612\*\*\* |
|  |  |  |  |  | (54.11) | (54.11) |
| 行业控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 企业控制变量 |   | 是 |   | 是 |   | 是 |

注：1.（1）—（4）列样本期间为2004—2013年。2. 第（5）、（6）列的样本期间为2000—2013年。3. 金砖国家包括：巴西、南非、印度、俄罗斯，亚洲地区包括韩国、新加披、中国台湾、中国香港。

|  |
| --- |
| **表C4 剔除国内机器人生产企业、贸易经销商、加工贸易商的影响** |
| 被解释变量 | 专利数量（ln） |
| 工具变量第二阶段回归结果 | 关税IV | 美国机器人IV |
| 剔除企业类型 | 机器人企业 | 经销商 | 加工贸易 | 机器人企业 | 经销商 | 加工贸易 |
| 解释变量 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| 机器人存量（ln） | 0.157\*\*\* | 0.157\*\*\* | 0.157\*\*\* | 0.603\*\*\* | 0.603\*\*\* | 0.603\*\*\* |
|  | (3.73) | (3.73) | (3.73) | (7.68) | (7.68) | (7.68) |
| 企业及行业控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 固定效应 | 企业;地区 | 企业;地区 | 企业;地区 | 企业;地区 | 企业;地区 | 企业;地区 |
| 观测值 | 251122 | 251113 | 251107 | 1768229 | 1768194 | 1768148 |
| *F*统计量 | 3.183 | 3.182 | 3.182 | 258.860 | 258.889 | 258.868 |
| 弱工具变量KP统计量 | 117.254 | 117.254 | 117.253 | 174.585 | 174.583 | 174.583 |
| 不可识别KP统计量 | 184.839 | 184.839 | 184.839 | 222.711 | 222.708 | 222.708 |
| 不可识别统计量*P*值 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

注：1.（1）—（3）列样本期间为2000—2003年。2.（4）—（6）列样本期间为2004—2013年。3.（1）—（6）列依次剔除机器人生产企业（Fan et al.，2021）、贸易经销商（参考Yu（2015），将企业名称中带有“进口”“出口”“贸易”字眼的企业视为贸易中间商）以及加工贸易下的机器人进口观测值。

**表C5 人机协同的稳健性：高技能职工规模检验**

|  |  |
| --- | --- |
| 被解释变量 | 专利数量（ln） |
| 面板固定效应或工具变量第二阶段结果 | 面板固定效应 | 美国机器人IV |
| 解释变量 | (1) | (2) | (3)  | (4)  |
| 机器人存量（ln）×高技能职工数量（ln） | 0.007\*\*\* | 0.006\*\* | 0.038\*\* | 0.059\*\*\* |
|  | (3.34) | (2.34) | (2.56) | (6.49) |
| 高级工数量（ln） | 0.036\*\*\* | 0.023\*\*\* | 0.050\*\*\* | 0.018\*\*\* |
|  | (34.87) | (19.13) | (5.07) | (13.94) |
| 机器人存量（ln） | 0.004 | -0.002 | 0.034\*\*\* | -0.078\*\*\* |
|  | (1.24) | (-0.44) | (23.53) | (-2.77) |
| 企业控制变量 |   | 是 |   | 是 |
| 固定效应 | 行业;地区 | 行业;地区 | 行业;地区 | 行业;地区 |
| 观测值 | 234,643 | 131,658 | 134234 | 131658 |
| *F* | 422.5 | 168.6 | 282.879 | 161.451 |
| 弱工具变量KP统计量 |  |  | 177.388 | 57.937 |
| 不可识别KP统计量 |  |  | 345.197 | 117.476 |
| 不可识别统计量*P*值 |  |  | 0.000 | 0.000 |

注：由于职工结构数据仅存在于2004年，因此样本期间为2004年。

**表C6 资机协同的稳健性：面板、滞后工具变量检验**

| 被解释变量 | 专利数量（ln） |
| --- | --- |
| 其他资本品变量 | 固定资产 | 其他资本品进口额 |
| 面板固定效应/工具变量第二阶段回归结果 | 面板 | 滞后机器人IV | 面板 | 滞后机器人IV |
| 解释变量 | (1) | (2) | (3) | (4) |
| 机器人存量（ln）\*固定资产（ln） | 0.005\*\*\* | 0.005\*\*\* |   |   |
|  | (6.43) | (5.45) |   |   |
| 机器人存量（ln）\*其他资本品累积进口额（ln） |   |  | 0.002\*\*\* | 0.002\* |
|  |  |  | (2.75) | (1.82) |
| 固定资产（ln） | 0.008\*\*\* | 0.008\*\*\* |   |  |
|  | (22.33) | (22.34) |   |  |
| 其他资本品累积进口额（ln） |   |  | 0.016\*\*\* | 0.016\*\*\* |
|  |   |  | (38.26) | (38.07) |
| 机器人存量（ln） | -0.040\*\*\* | -0.030\*\*\* | -0.014 | -0.006 |
|  | (-4.52) | (-2.97) | (-1.21) | (-0.36) |
| 企业及行业控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 固定效应 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 |
| 观测值 | 2,050,024 | 2050024 | 2,050,024 | 2050024 |
| *F*统计量 | 402.5 | 402.919 | 448.1 | 448.804 |
| 弱工具变量KP统计量 |   | 1393.269 |   | 318.926 |
| 不可识别KP统计量 |   | 1803.375 |   | 467.213 |
| 不可识别统计量*P*值 |   | 0.000 |   | 0.000 |

注：1. （1）、（4）列样本区间为2000—2013年；第（2）、（5）列样本区间为2000至2003年；第（3）、（6）列样本区间为2000—2013年。2. 其他资本品累计进口额指企业2000年以来除机器人以外的资本品累计进口额。

**表C7 生产率异质性的稳健性检验**

|  |  |
| --- | --- |
| 被解释变量 | 专利数量（ln） |
| 生产率分组依据 | 根据当期生产率分组 | 根据滞后一期生产率分组 |
| 分组 | 低生产率组 | 高生产率组 | 低生产率组 | 高生产率组 |
| 面板固定效应或工具变量第二阶段结果 | 面板 | 关税IV | 面板 | 关税IV | 面板 | 美国机器人IV | 关税IV | 面板 | 美国机器人IV | 关税IV |
| 解释变量 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) |
| 机器人存量（ln） | -0.007 | -0.232 | 0.016\*\*\* | 0.141\*\*\* | 0.007 | 0.746 | 0.221 | 0.015\*\*\* | 0.547\*\*\* | 0.159\*\*\* |
|  | (-0.79) | (-0.98) | (5.37) | (2.96) | (1.34) | (0.85) | (0.60) | (4.79) | (4.91) | (3.14) |
| 企业及行业控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 固定效应 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 |
| 观测值 | 494,880 | 84935 | 658,199 | 117516 | 545,573 | 417054 | 92256 | 592,221 | 458744 | 104831 |
| *F*统计量 | 37.63 | 0.722 | 180.7 | 2.338 | 59.24 | 43.810 | 0.482 | 166.7 | 99.618 | 2.492 |
| 弱工具变量KP统计量 |  | 4.793 |  | 91.457 |  | 4.443 | 4.982 |  | 73.120 | 86.864 |
| 不可识别KP统计量 |  | 8.270 |  | 148.776 |  | 7.043 | 8.567 |  | 106.972 | 141.467 |
| 不可识别统计量*P*值 |  | 0.004 |  | 0.000 |  | 0.008 | 0.003 |  | 0.000 | 0.000 |
| 过度识别统计量 |  | 0.000 |  | 0.000 |  | 0.000 | 0.000 |  | 0.000 | 0.000 |

注：1. 表中第（1）、（3）、（4）、（5）、（8）列的样本期间为2000—2013年；第（6）、（9）列的样本期间为2004—2013年；第（2）、（4）、（7）、（10）列的样本期间为2000—2003年。2.（1）—（4）列中，企业生产率高于当年行业中位数的划入高生产率组，否则为低生产率组。（5）—（10）列中，企业去年生产率高于去年行业中位数的，企业今年被划入高生产率组，否则今年被划入低生产率组。

**表C8 细分专利类别的稳健性：多期平均检验结果**

| Panel A. 两期平均（滞后一期与当期） |
| --- |
| 被解释变量 | 两期平均发明专利数量（ln） | 两期平均实用新型和外观专利数量（ln） |
| 面板固定效应或工具变量第二阶段回归结果 | 面板 | 关税IV | 美国机器人IV | 面板 | 关税IV | 美国机器人IV |
| 解释变量 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| 机器人存量（ln）(*t*-1) | 0.0038\*\*\* | 0.058\*\*\* | 0.045\*\* | 0.0179\*\*\* | 0.081\*\* | 0.654\*\*\* |
|  | (3.80) | (3.91) | (2.41) | (10.13) | (2.10) | (11.40) |
| 企业及行业控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 固定效应 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 |
| 观测值 | 2,050,024 | 214945 | 1313711 | 2,050,024 | 214945 | 1313711 |
| *F*统计量 | 206.4 | 8.550 | 83.076 | 630.7 | 6.753 | 276.519 |
| 弱工具变量KP统计量 |   | 96.969 | 256.911 |   | 96.969 | 256.911 |
| 不可识别KP统计量 |   | 155.206 | 322.774 |   | 155.206 | 322.774 |
| 不可识别统计量*P*值 |   | 0.000 | 0.000 |   | 0.000 | 0.000 |

注：1.第（1）、（4）列的样本区间为2000—2013年。2.第（2）、（5）列的样本区间为2000—2003年。3.第（3）、（6）列的样本区间为2004—2013年。

| Panel B. 三期平均（滞后一期、当期以及未来一期） |
| --- |
| 被解释变量 | 三期平均发明专利数量（ln） | 三期平均实用新型和外观专利数量（ln） |
| 面板固定效应或工具变量第二阶段回归结果 | 面板 | 关税IV | 美国机器人IV | 面板 | 关税IV | 美国机器人IV |
| 解释变量 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| 机器人存量（ln）(*t*-1) | 0.0051\*\*\* | 0.065\*\*\* | 0.045\*\* | 0.0129\*\*\* | 0.050\*\* | 0.371\*\*\* |
|  | (4.52) | (4.85) | (2.52) | (8.80) | (2.11) | (9.81) |
| 企业及行业控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 固定效应 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 |
| 观测值 | 1,440,718 | 182149 | 960477 | 1,440,718 | 182149 | 960477 |
| *F*统计量 | 181.7 | 10.018 | 61.083 | 412.4 | 8.456 | 149.181 |
| 弱工具变量KP统计量 |   | 96.169 | 214.665 |   | 96.169 | 214.665 |
| 不可识别KP统计量 |   | 151.697 | 278.206 |   | 151.697 | 278.206 |
| 不可识别统计量*P*值 |   | 0.000 | 0.000 |   | 0.000 | 0.000 |

注：1. 第（1）、（4）列的样本区间为2000—2013年。2.第（2）、（5）列的样本区间为2000—2003年。3.第（3）、（6）列的样本区间为2004—2013年。

| 表C9 学习效应的稳健性：亚洲机器人工具变量、面板检验结果 |
| --- |
| 被解释变量 | 专利规模（ln） |
| 面板或工具变量第二阶段回归结果 | 亚洲机器人IV | 面板 |
| 行业分类及代码 | 大类35 | 中类357 | 细类3579 | 大类35 | 中类357 | 细类3579 |
| 解释变量 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| 机器人存量（ln） | 0.446\*\*\* | -0.037 | 2.157 | 0.2059\*\* | -0.0924 | 0.2334 |
|  | (3.04) | (-0.11) | (0.46) | (2.38) | (-0.62) | (1.30) |
| 企业及行业控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 固定效应 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 | 企业;年份 |
| 观测值 | 148018 | 18723 | 3615 | 170,133 | 21,188 | 4,135 |
| F统计量 | 18.815 | 3.798 | 2.096 | 33.09 | 5.450 | 2.333 |
| 弱工具变量KP统计量 | 29.320 | 5.251 | 1.180 |  |  |  |
| 不可识别KP统计量 | 37.414 | 6.904 | 1.645 |  |  |  |
| 不可识别统计量P值 | 0.000 | 0.009 | 0.200 |  |  |  |

注：样本区间为2004—2013年。

# 参考文献

1. Acemoglu, D., L. Claire, and P. Restrepo,“Competing with Robots: Firm-Level Evidence from France”, *AEA Papers and Proceedings*, 2020, 110, 383-88.
2. Autor, D. H., D. Dorn, and G. H. Hanson,“Untangling Trade and Technology: Evidence from Local Labour Markets”, *The Economic Journal*, 2015, 125(584), 621-646.
3. Autor, D., G. H. Hanson, G. Pisano, and P. Shu,“Foreign Competition and Domestic Innovation: Evidence from US Patents”,*American Economic Review: Insights*, 2020, 2(3), 357-74.
4. Bloom, N., M. Draca, and J. Van Reenen,“Trade Induced Technical Change? The Impact of Chinese Imports on Innovation, IT and Productivity”, *The Review of Economic Studie*s, 2016, 83(1), 87-117.
5. Chen, Z., J. Zhang, and W. Zheng,“Import and Innovation: Evidence from Chinese Firms”, *European Economic Review*, 2017, 94, 205-220.
6. Colantone, I., and R. Crinò,“New Imported Inputs, New Domestic Products”, *Journal of International Economics,* 2014, 92(1), 147-165.
7. Dauth, W., F. Sebastian, S. Jens, and W. Nicole,“German Robots-The Impact of Industrial Robots on Workers”, CEPR Discussion Paper, No. DP12306, 2017.
8. Dixon, J., H. Bryan, and W. Lynn,“The Robot Revolution: Managerial and Employment Consequences for Firms”, *Management Science*, 2021, 67(9), 5586-5605.
9. Eaton, J., and S. Kortum, “Trade in Capital Goods”, *European Economic Review*, 2001, 45(7), 1195-1235.
10. Goldberg, P. K., A. K. Khandelwal, N. Pavcnik, and P. Topalova, “Imported Intermediate Inputs and Domestic Product Growth: Evidence from India”, *The Quarterly Journal of Economics*, 2010, 125(4), 1727-1767.
11. Grieco, P. L., S. Li, and H. Zhang,“Input Prices, Productivity and Trade Dynamics: Long-Run Effects of Liberalization on Chinese Paint Manufacturers”, Working Paper, 2022.
12. Katz, L.F., and R. A. Margo, *Technical Change and the Relative Demand for Skilled Labor: The United States in Historical Perspective*. Chicago: University of Chicago Press, 2014.
13. Keller, W.,“International Technology Diffusion”, *Journal of Economic Literature*, 2004, 42(3), 752-782.
14. Liu, Q., and H. Ma, “Trade Policy Uncertainty and Innovation: Firm Level Evidence from China’s WTO Accession”, *Journal of International Economics*, 2020, 127, 103387.
15. Liu, Q., and L. D. Qiu, “Intermediate Input Imports and Innovations: Evidence from Chinese Firms' Patent Filings”, *Journal of International Economics*, 2016, 103, 166-183.
16. Mo, J., L. D. Qiu, H. Zhang, and X. Dong,“What You Import Matters for Productivity Growth: Experience from Chinese Manufacturing Firms”, *Journal of Development Economics*, 2021, 152, 102677.
17. Sun, X., H. Li, and V. Ghosal, “Firm-Level Human Capital and Innovation: Evidence from China”, *China Economic Review*, 2020, 59, 101388.
18. Yu, M., “Processing Trade, Tariff Reductions and Firm Productivity: Evidence from Chinese Firms”, *The Economic Journal*, 2015, 125(585), 943-988.

**注：该附录是期刊所发表论文的组成部分，同样视为作者公开发表的内容。如研究中使用该附录中的内容，请务必在研究成果上注明附录下载出处**。