**机器人革命降低了离岸外包程度：理论和实证分析**

曾荣 颜晓畅 陈仪

**目录**

附录Ⅰ 行业分类 1

附录Ⅱ 描述性统计指标 2

附录Ⅲ 其他工具变量有效性检验 3

附录Ⅳ 稳健性检验 4

附录Ⅴ 进一步分析 6

附录Ⅰ 行业分类

表Ⅰ1 行业分类

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 标签 | IFR | EUCLEMS | WIOD |
| 农业 | A-B | A | A01,A02,A03 |
| 采矿业 | C | B | B |
| 食品 | 10-12 | 10-12 | C10-C12 |
| 纺织 | 13-15 | 13-15 | C13-C15 |
| 木制品 | 16,17-18 | 16-18 | C16,C17,C18 |
| 其他化工制品 | 19-21 | 19-21 | C20 |
| 塑料制品 | 22,23 | 22-23 | C22 |
| 金属 | 24,25 | 24-25 | C24,C25 |
| 电子电气 | 26,27 | 26-27 | C27 |
| 机械 | 28 | 28 | C28 |
| 汽车 | 29 | 29-30 | C29,C30 |
| 公共事业 | E | D-E | E36,E7-E39 |
| 建筑 | F | F | F |
| 教育 | P | P | P85 |

附录Ⅱ 描述性统计指标

如表所示，离岸外包率在不同国家、行业、年份间的差异较大，最小值接近0，最大值接近1，标准差高达16.9%。工业机器人存量（万台）的标准差也高达5.5%。

表Ⅱ1描述性统计指标

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 变量 | 含义 | 观测值 | 平均值 | 标准差 | 最小值 | 最大值 |
| $$Offsℎore$$ | 离岸外包率 | 3780 | 0.336 | 0.169 | 0.049 | 0.883 |
| $$Robot$$ | 工业机器人存量（万台） | 3780 | 0.010 | 0.055 | 0 | 1.091 |
| $$Labor$$ | 劳动密集度 | 3458 | 0.648 | 0.288 | 0.036 | 6.117 |
| $$R\&D$$ | 行业创新强度 | 2401 | 0.036 | 0.055 | 0 | 0.496 |
| $$RIV1$$ | 行业可自动化程度 | 3780 | 0.363 | 0.875 | 0 | 7.125 |
| $$RIV2$$ | 行业可自动化程度 | 3780 | 0.619 | 1.462 | 0 | 11.284 |
| $$Replaceableℎours$$ | 可替代职业的种数占比 | 14 | 0.223 | 0.132 | 0.009 | 0.405 |
| $$Reacℎingℎandling$$ | 行业对体力的需求程度 | 14 | 0.380 | 0.211 | 0.028 | 0.642 |

附录Ⅲ 其他工具变量有效性检验

表Ⅲ1 其他工具变量回归结果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
|  | RIV(3) | RIV(4) |
|  | 面板.A 第一阶段回归 |
| RIV | -0.010\*\*\* | -0.011\*\*\* | -0.017\*\*\* | 0.962\*\*\* | 0.961\*\*\* | 0.957\*\*\* |
|  | (0.001) | (0.002) | (0.002) | (0.006) | (0.007) | (0.009) |
| $$R^{2}$$ | 0.259 | 0.270 | 0.353 | 0.902 | 0.902 | 0.903 |
|  | 面板.B 第二阶段回归 |
| Robot | -1.021\*\*\* | -0.919\*\*\* | -0.918\*\*\* | -0.167\*\*\* | -0.189\*\*\* | -0.174\*\*\* |
|  | (0.256) | (0.227) | (0.190) | (0.029) | (0.028) | (0.028) |
|  | 面板.C 弱工具变量检验 |
| Anderson-Rubin Wald test | (20.77)\*\*\* | (20.78)\*\*\* | (33.53)\*\*\* | (33.44)\*\*\* | (47.08)\*\*\* | (38.93)\*\*\* |
| Stock-Wright LM S statistic | (20.66)\*\*\* | (20.66)\*\*\* | (33.04)\*\*\* | (33.12)\*\*\* |  (46.41)\*\*\* | (38.22)\*\*\* |
| 年份固定效应 | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 国家固定效应 | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 行业固定效应 | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| Labor |  | √ | √ |  | √ | √ |
| R&D |  |  | √ |  |  | √ |
| Observations | 3780 | 3458 | 2245 | 3528 | 3234 | 2100 |

附录Ⅳ 稳健性检验

为了检验估计结果是否稳健，本文还通过采用不同的方式衡量离岸外包程度、更换主要解释变量、改变样本范围等方式进行了一系列稳健性检验。

1. 控制国家-年份固定效应和行业-年份固定效应

本文进一步控制国家-年份固定效应和行业-年份固定效应进行稳健性检验。加入国家固定效应与年份固定效应的交互项可以控制国家层面随时间变化的不可观测因素对离岸外包的影响。加入行业固定效应与年份固定效应的交乘项可以控制行业层面逐年变化的因素对离岸外包的影响。表Ⅳ1和表Ⅳ2分别为使用RIV1和RIV2作为工具变量的回归结果。表Ⅳ1和表Ⅳ2的列（1）为控制国家-年份固定效应和行业-年份固定效应估计结果。结果显示，工业机器人的系数显著为负，机器人应用显著降低了离岸外包率。

1. 重新测度离岸外包

考虑到离岸外包率的不同测度方式可能会影响本文的结论，本文借鉴Geishecker和Gorg（2004）的做法，用进口的中间投入与行业总产值的比值衡量离岸外包率。表Ⅳ1和表Ⅳ2的列（2）为估计结果。可以看到，工业机器人的系数在1%显著水平下为负，这说明采用其他的离岸外包测度指标并不影响本文的基准结论。

本文还使用狭义外包率进行稳健性检验，即用进口的本行业中间投入品占所有非能源中间投入品的比例衡量离岸外包率。表Ⅳ1和表Ⅳ2的列（3）为采用狭义外包指标作为被解释变量的回归结果。工业机器人的回归系数仍显著为负。这进一步佐证了本文的基准回归结果是稳健的。

1. 采用其他解释变量

考虑到不同国家的劳动力禀赋存在差异，本文使用工业机器人应用密度作为被解释变量进行稳健性检验。本文从佩恩表（PWT）中获取国家层面的工人人数和工作小时数，将每千名工人的机器人和每百万小时的机器人作为工业机器人应用的替代度量重新进行回归。表Ⅳ1和表Ⅳ2的列（4）-（5）分别为使用每千名工人的机器人占有量和每百万小时的机器人作为解释变量的回归结果，回归系数仍然显著为负。

4、剔除离群值

考虑到离群值的存在可能会使估计产生偏误，本文剔除了离岸外包率中高于99百分位或低于1百分位的样本进行稳健性检验。表Ⅳ1和表Ⅳ2的列（6）为剔除离群值后的回归结果，工业机器人系数与基准回归基本一致，表明本文主要结论不受数据中离群值的影响。

5、剔除自动化程度较高的行业

考虑到自动化技术对行业离岸外包的影响可能受自动化程度较高的几个行业驱动，本文删除自动化程度较高的行业进行稳健性检验。表Ⅳ1和表Ⅳ2的列（7）为删除机械、电子等工业机器人存量较高的行业的回归结果，工业机器人的系数在1%的水平上显著为负，表明结果是稳健的。

6、剔除未分类机器人较高的国家

IFR数据库没有提供所有国家所有行业工业机器人数量的详细信息。一些机器人不属于某个行业，而是被归类为未分类的机器人。作为稳健性检验，我们将重点放在未指定机器人库存相对较低的国家。因此本文删除了未分类机器人存量高于75%分位的国家，重新估计工业机器人对离岸外包率的影响。表Ⅳ1和表Ⅳ2的列（8）的回归结果表明，工业机器人的应用与行业离岸外包率显著负相关。

表Ⅳ1 其他稳健性检验：$RIV1$

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | (1) | (2) | (3) | (4) |
|  | 其他固定效应 | Geishecker & Gorg指标 | 狭义外包 | 每千名工人机器人占有量 |
| Robot | -0.395\*\*\* | -0.803\*\*\* | -0.210\*\*\* | -0.039\*\*\* |
|  | (0.056) | (0.091) | (0.049) | (0.011) |
| Labor | -0.013\*\* | -0.037\*\*\* | -0.008\* | -0.011 |
|  | (0.006) | (0.009) | (0.005) | (0.010) |
| 年份固定效应 |  | √ | √ | √ |
| 国家固定效应 |  | √ | √ | √ |
| 行业固定效应 |  | √ | √ | √ |
| 国家-年份固定效应 | √ |  |  |  |
| 行业-年份固定效应 | √ |  |  |  |
| Observations | 3458 | 3458 | 3458 | 3458 |
| KP(F-stat) | 763.265 | 821.353 | 821.353 | 20.546 |
|  | (5) | (6) | (7) | (8) |
|  | 每百万小时机器人占有量 | 剔除离群值 | 剔除自动程度较高的行业 | 剔除未分类机器人较高的国家 |
| Robot | -2.579\*\*\* | -0.309\*\*\* | -0.712\*\*\* | -0.194\*\*\* |
|  | (0.441) | (0.055) | (0.236) | (0.055) |
| Labor | -0.015\*\* | -0.014\*\*\* | -0.009\* | -0.006 |
|  | (0.006 | (0.005) | (0.005) | (0.007) |
| 年份固定效应 | √ | √ | √ | √ |
| 国家固定效应 | √ | √ | √ | √ |
| 行业固定效应 | √ | √ | √ | √ |
| Observations | 3458 | 3404 | 2717 | 1988 |
| KP(F-stat) | 282.819 | 812.168 | 975.275 | 454.946 |

表Ⅳ2 其他稳健性检验：$RIV$2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | (1) | (2) | (3) | (4) |
|  | 其他固定效应 | Geishecker & Gorg指标  | 狭义外包 | 每千名工人机器人占有量 |
| Robot | -0.470\*\*\* | -0.936\*\*\* | -0.235\*\*\* | -0.062\*\* |
|  | (0.068) | (0.109) | (0.058) | (0.024) |
| Labor | -0.014\*\* | -0.038\*\*\* | -0.008\* | -0.011 |
|  | (0.006) | (0.009) | (0.005) | (0.014) |
| 年份固定效应 |  | √ | √ | √ |
| 国家固定效应 |  | √ | √ | √ |
| 行业固定效应 |  | √ | √ | √ |
| 国家-年份固定效应 | √ |  |  |  |
| 行业-年份固定效应 | √ |  |  |  |
| Observations | 3458 | 3458 | 3458 | 3458 |
| KP(F-stat) | 503.576 | 549.117 | 549.117 | 8.029 |
|  | (5) | (6) | (7) | (8) |
|  | 每百万小时机器人占有量 | 剔除离群值 | 剔除自动程度较高的行业 | 剔除未分类机器人较高的国家 |
| Robot | -3.060\*\*\* | -0.378\*\*\* | -1.042\*\*\* | -0.227\*\*\* |
|  | (0.538) | (0.065) | (0.254) | (0.065) |
| Labor | -0.016\*\*\* | -0.014\*\*\* | -0.009 | -0.006 |
|  | (0.006) | (0.005) | (0.005) | (0.007) |
| 年份固定效应 | √ | √ | √ | √ |
| 国家固定效应 | √ | √ | √ | √ |
| 行业固定效应 | √ | √ | √ | √ |
| Observations | 3458 | 3404 | 2717 | 1988 |
| KP(F-stat) | 195.710 | 537.377 | 804.219 | 305.602 |

附录Ⅴ 进一步分析

1.机器人革命对全球价值链参与度的影响

本文进一步研究机器人革命对全球价值链参与度的影响。国际分工背景下，不同的生产阶段在不同的国家生产和完成，中间投入多次跨越边境。机器人革命通过促使发达经济体将生产从发展中经济体转移回本国或靠近本国市场，从而影响各国在全球价值链中的参与度。Koopman等（2010）将全球价值链参与度分为前向参与度和后向参与度。其中，前向参与度表示出口中间产品中包含的国内增加值份额，后向参与度表示出口的最终产品中包含的外国增加值份额。机器人革命重塑发达经济体的制造优势，促使传统劳动密集型产业的部分生产环节重新转移回国内。发达经济体用国内中间品替代国外中间品，用国内生产活动代替全球价值链生产，这在一定程度上会导致全球价值链后向参与度呈现收缩态势。本文借鉴Koopman等（2010）的做法，用一国某产业向其他国家出口的最终产品中包含的外国增加值份额衡量全球价值链后向参与度。表Ⅴ1为机器人革命对全球价值链后向参与度的回归结果。结果表明，机器人革命对全球价值链后向参与度存在显著的负向影响。

表Ⅴ1 机器人革命对全球价值链后向参与度的影响

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | (1) | (2) | (3) |
|  | OLS | IV(1) | IV(2) |
| Robot | -0.107\*\*\* | -0.305\*\*\* | -0.300\*\*\* |
|  | (0.033) | (0.046) | (0.054) |
| Labor | -0.011 | -0.012\*\* | -0.012\*\* |
|  | (0.021) | (0.005) | (0.005) |
| 年份固定效应 | √ | √ | √ |
| 国家固定效应 | √ | √ | √ |
| 行业固定效应 | √ | √ | √ |
| Observations | 3458 | 3458 | 3458 |
| R-squared | 0.797 |  |  |
| KP(F-stat) |  | 821.354 | 549.117 |

1. 构造回流指标

离岸外包意指为利用国外资源而将一些生产环节转移到国外的活动。与此相反，回流是指生产投资活动从国外向国内转移的现象。在前面的分析中，我们已经发现机器人革命对离岸外包存在显著的负向影响。那么，机器人革命是否会对产业回流产生影响？接着，本文进一步检验工业机器人的应用对产业回流的影响。本文借鉴Krenz等（2021）的做法构造产业回流的指标如下：

$$Resℎoring\_{cit}=\left({DI\_{ci,t}}/{FI\_{ci,t}}\right)−\left({DI\_{ci,t−1}}/{FI\_{ci,t−1}}\right)$$

其中，$DI\_{ci,t}$表示第$t$年$c$国$i$行业的国内中间品投入，$FI\_{ci,t}$表示第$t$年$c$国$i$行业的进口中间品投入。如表Ⅴ2所示，工业机器人的回归系数显著为正，即机器人革命导致产业回流显著增加。这表明工业机器人的应用促使发达经济体将生产活动转移到国内。

表Ⅴ2 机器人革命对产业回流的影响

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | (1) | (2) | (3) |
|  | OLS | IV(1) | IV(2) |
| Robot | 0.840\*\*\* | 1.767\* | 2.405\*\* |
|  | (0.192) | (0.992) | (1.172) |
| Labor | 0.032 | 0.037 | 0.039 |
|  | (0.085) | (0.100) | (0.101) |
| 年份固定效应 | √ | √ | √ |
| 国家固定效应 | √ | √ | √ |
| 行业固定效应 | √ | √ | √ |
| Observations | 3010 | 3010 | 3010 |
| R-squared | 0.299 |  |  |
| KP(F-stat) |  | 760.022 | 509.272 |

参考文献

1. Geishecker, I. and H. Görg, “ Winners and Losers:A Micro-level Analysis of International Outsourcing and Wages”, *Canadian Journal of Economics*, 2008, 41(1),243-270.
2. Koopman, R., Z. Wang, and S. Wei., “Tracing Value -added and Double Counting in Gross Exports ”, *American Economic Review*, 2014, 104(2), 459-494.
3. Krenz, A., K. Prettner, and H. Strulik, “Robots,Reshoring, and the Lot of Low-skilled Workers”, *European Economic Review*, 2021, 136, 1-35.

**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。**