

《企业机器换人与权益资本成本》附录

附录一 权益资本成本（ RE_PEG ）具体计算公式

PEG 模型测算企业融资的权益资本成本 RE_PEG ，具体计算公式如下所示：

$$RE_PEG_t = \sqrt{\frac{EPS_{t+2} - EPS_{t+1}}{P_t}} \quad (A1)$$

其中，为了保持与解释变量 MLR 的量纲一致，将（A1）式的计算结果乘以 100 得到被解释变量 RE_PEG 。 EPS_{t+1} 和 EPS_{t+2} 分别为未来一年和两年分析师预测的每股收益均值， P_t 为 t 期末的股票价格，其中分析师预测指标来自于 CSMAR 数据库。

为了增强结论可靠性，本文稳健性检验也采用了 MPEG 模型 OJM 模型，测度企业权益资本成本。计算公式分别如式（A2）和（A3）所示：

$$RE_MPEG_t = \sqrt{\frac{EPS_{t+2} + RE_MPEG_t * DPS_{t+1} - EPS_{t+1}}{P_t}} \quad (A2)$$

$$RE_OJM_t = A + \sqrt{A^2 + \frac{EPS_1}{P_1} [g_2 - (\gamma - 1)]} \quad (A3)$$

其中， DPS_{t+1} 为未来一年的每股股利， $\gamma = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{EPS_{t+1}}{EPS_t} = g_p + 1$ ， $A = \frac{\gamma - 1 + \frac{DPS_{t+1}}{P_t}}{2}$ ， $g_2 = (EPS_{t+2} - EPS_{t+1})/EPS_{t+1}$ 。

附录二 稳健性检验

（一）处理逆向因果关系导致的内生性。

本文研究存在潜在双向因果的可能，即虽然企业实施机器换人会有效降低其权益资本成本，但低权益融资成本的企业也可能更倾向实施机器换人。为此，本文采用工具变量法进行两阶段最小二乘（2SLS）检验。本文参考 Acemoglu and Restrepo（2020）和 Goldsmith et al.

（2020）的研究，基于 2012 年中国城市行业就业结构与美国行业层面工业机器人渗透度构建 Bartik 工具变量，并与滞后一期 MLR_Dum 交乘生成 $barticUSMLR$ 。同时，参照 Bartik（1991）和 Dube et al.（2010）的研究，以最低工资滞后值与其一阶差分的乘积构建最低工资政策 Bartik 工具变量 $barticMwage$ 。附表 1 第（3）、（4）列报告的 2SLS 第二阶段回归结果显示， MLR_Dum 系数在 1% 的水平上依旧显著为负，这意味着本文的核心结论保持稳健。第一阶段 F 值分别为 20.72 和 19.93，超过弱工具变量判断的经验阈值 10，表明工具变量与解释变量强相关；Hansen J 检验的 p 值分别为 0.6244 和 0.7953，不能拒绝原假设，进一步支持工具变量的外生性。

此外，基于未来不可能孕育过去的朴素思想，本文进而采用机器换人的滞后项（ L_MLR_Dum ）作为解释变量进行回归。附表 1 第（5）列和第（6）列滞后项（ L_MLR1_Dum 、 L_MLR2_Dum ）的回归系数均在 1% 水平上显著为负，与表 2 发现高度一致。综上可知，在处理潜在逆向因果关系后，实证结果仍支持企业实施机器换人能显著降低其权益资本成本的结论。

附表 1 稳健性检验I：逆向因果处理

VARIABLES	IV 估计				解释变量滞后	
	第一阶段		第二阶段			
	MLR1_Dum (1)	MLR2_Dum (2)	RE_PEG (3)	RE_PEG (4)	RE_PEG (5)	RE_PEG (6)
<i>barticUSMLR1</i>	0.072*** (10.204)					
<i>barticUSMLR2</i>		0.064*** (8.635)				
<i>barticMwage</i>	0.003 (0.325)	-0.005 (-0.606)				
<i>MLR1_Dum</i>			-2.986*** (-3.502)			
<i>MLR2_Dum</i>				-2.841*** (-2.937)		
<i>L_MLR1_Dum</i>					-0.422*** (-3.426)	
<i>L_MLR2_Dum</i>						-0.401*** (-3.359)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>Firm&Year</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	9869	9869	9364	9364	12793	12642
<i>Adj. R2</i>	0.079	0.044	-0.019	-0.005	0.518	0.518
<i>F-value</i>	20.72	19.93	-	-	-	-
<i>P-Hansen J</i>			0.6244	0.7953		

注：括号内为经公司层面聚类调整后得到的 t 值。*、**、***分别表示 10、5%和 1%的显著性水平，下表同。

（二）处理样本选择问题导致的内生性

针对管理层特征与企业机器换人决策的非随机选择问题。本文采用 Heckman 两步法进行处理，具体步骤如下：第一阶段构建 Probit 选择模型，直接以机器换人程度 *MLR1_Dum* 和 *MLR2_Dum* 为被解释变量，存在机器换人行为的企业取值为 1，否则为 0。在模型（1）控制变量的基础上，进一步增加控制了公司管理层个体特征变量，包括男性占比（*MaleRatio*）、平均年龄（*ManAge*）、金融背景（*FinBack*）、海外背景（*OverseaBack*）、持股比例（*Mshare*）、生产经历（*ProExp*）、研发经历（*InnovExp*）及学术经历（*ResExp*）。然后，将第一阶段回归得到的逆米尔斯比率（*IMR*）代入主回归模型重新回归。附表 2 列（3）和（4）结果显示，将逆米尔斯比率（*IMR*）引入主回归后，*IMR* 系数显著，证实自选择偏误存在；但机器换人指标 *MLR1_Dum* 与 *MLR2_Dum* 系数仍在 1%水平显著为负，前文结论依旧稳健。

附表 2 稳健性检验II：自选择偏误处理

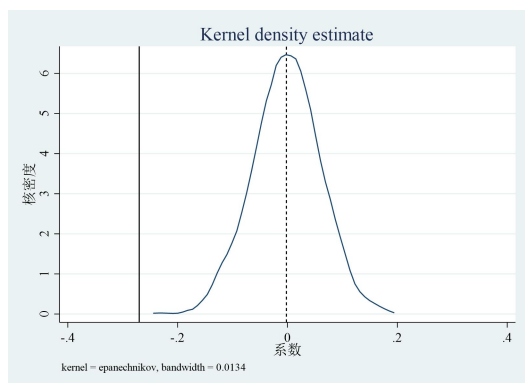
VARIABLES	Heckman			
	第一阶段回归		第二阶段回归	
	MLR1_Dum (1)	MLR2_Dum (2)	RE_PEG (3)	RE_PEG (4)
<i>MLR1_Dum</i>			-0.339***	

			(-2.69)	
<i>MLR2_Dum</i>				-0.414***
				(-3.14)
<i>IMR</i>			1.958***	2.408***
			(3.12)	(2.64)
<i>Mshare</i>	0.008***	0.006***	-0.000	-0.001
	(4.90)	(4.17)	(-0.08)	(-0.10)
<i>MaleRatio</i>	0.286	0.313	0.747	0.920
	(1.30)	(1.47)	(1.19)	(1.44)
<i>ManAge</i>	1.379***	0.999**	-1.316	-1.181
	(3.09)	(2.33)	(-0.95)	(-0.84)
<i>FinBack</i>	-0.001	0.009	0.064	0.086
	(-0.02)	(0.23)	(0.74)	(0.98)
<i>OverseaBack</i>	-0.062	-0.049	-0.006	-0.003
	(-1.40)	(-1.14)	(-0.05)	(-0.03)
<i>ProExp</i>	0.153**	0.139*		
	(1.97)	(1.78)		
<i>InnovExp</i>	-0.123	-0.044		
	(-1.31)	(-0.48)		
<i>ResExp</i>	0.363***	0.288***		
	(4.99)	(4.09)		
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>Firm&Year</i>	No	No	Yes	Yes
<i>Industry</i>	Yes	Yes	No	No
<i>N</i>	13812	13806	13736	13730
<i>Pseudo R²/ Adj. R²</i>	0.156	0.125	0.52	0.52

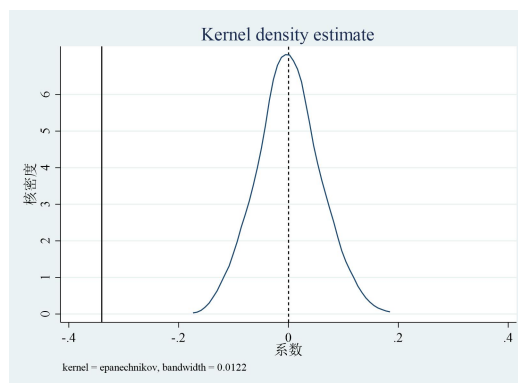
（三）处理遗漏变量导致的内生性

考虑到某些未观测变量比如企业文化和战略规划等,可能同时影响企业机器换人程度和权益资本成本,导致企业机器换人对权益资本成本的影响不是因果关系,存在遗漏变量导致的内生性问题。为此,本文进一步采用安慰剂检验、多期 DID 模型、纳入多维固定效应,排除可能存在遗漏变量的潜在内生性问题的干扰。

1、为排除未观测因素干扰,本文采用安慰剂检验。将机器换人变量随机分配至样本企业,重复回归 1000 次。回归结果见附表 3 第(1)列和第(2)列,结果不显著。同时附图 1 和附图 2 分别汇报了 *MLR1_Dum* 和 *MLR2_Dum* 的安慰剂检验图,随机化回归系数集中于 0 附近,均值(虚线)与真实值(-0.270 和-0.340 实线)显著偏离,证实基准结果非偶然性驱动。



附图 1 *MLR1_Dum* 系数的核密度估计



附图 2 *MLR2_Dum* 系数的核密度估计

2、以工业和信息化部逐年发布的《工业和信息化部关于公布智能制造试点示范项目名单的通告》政策颁布为外生冲击事件，构建多期 DID 模型。相比不在试点名单内的企业，在实施智能制造的试点名单内的企业将会引入更加自动化的机器设备，从而提高其机器人换人程度。为此，本文参考吴非等（2021）的研究，若企业属于智能制造试点名单内的上市公司，则为处理组 $Treat=1$ ，否则为控制组 $Treat=0$ ； $Post$ 区分公司进行智能制造的时间。回归结果显示如附表 3 第（3）列所示，DID 的系数 5%水平显著为负，支持了结论的稳健性^①。

3、多维度固定效应控制。本文进一步纳入省份固定效应、行业固定效应、行业-时间及省份-时间交互固定效应，以控制区域、行业层面不可观测的时变与非时变因素。附表 3 第（4）、（5）列结果显示，*MLR1_Dum* 与 *MLR2_Dum* 系数分别在 5%和 1%水平显著为负，这说明在控制了行业和地区层面的不可观测变量后，研究结论依然成立。

附表 3 稳健性检验III：遗漏变量处理

VARIABLES	安慰剂检验		多期 DID	VARIABLES	多维固定效应	
	<i>RE_PEG</i>	<i>RE_PEG</i>			<i>RE_PEG</i>	<i>RE_PEG</i>
	(1)	(2)	(3)		(4)	(5)
<i>MLR1_Dum</i>	0.015 (0.26)			<i>MLR1_Dum</i>	-0.242** (-2.18)	
<i>MLR2_Dum</i>		-0.047 (-0.84)		<i>MLR2_Dum</i>		-0.352*** (-3.03)
<i>DID</i>			-0.523** (-2.12)	<i>Year</i>	Yes	Yes
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	<i>Industry</i>	Yes	Yes
<i>Firm</i>	Yes	Yes	Yes	<i>province</i>	Yes	Yes
<i>Year</i>	Yes	Yes	Yes	<i>Industry×year</i>	Yes	Yes
<i>N</i>	15537	15537	15537	<i>Province×year</i>	Yes	Yes
<i>Adj. R²</i>	0.50	0.50	0.50	<i>N</i>	15475	15475
				<i>Adj. R²</i>	0.56	0.56

（四）更换变量测算方法

1、替换被解释变量。参考毛新述等（2012），本文采用由公式（A2）和公式（A3）计算得出的 MPEG 模型和 OJM 模型^②的权益资本成本（*RE_MPEG* 和 *RE_OJM*）来替换 PEG

① 本文多期 DID 满足平行趋势假定。囿于篇幅限制，平行趋势检验图留存备索。

② 本文也采用事后 CAPM 模型测度权益资本成本，回归结果表明本文研究结论依旧成立，囿于篇幅

模型计算的权益资本成本 (RE_PEG) 作为模型的被解释变量进行稳健性检验。

2、替换解释变量。首先，从机器劳动比的角度重新构造机器换人变量，即将企业全部机器设备 ($Machine1$) 与员工总额 ($Labor1$) 的比值取自然对数得到机器劳动比，度量企业机器换人程度，记为 $MLR1$ ；同时，将与生产经营过程高度相关的机器设备 ($Machine2$) 与企业可用机器替代的相关人员 ($Labor2$) 的比值取自然对数得到 $MLR2$ 。具体计算见公式(A4)；其次，从前文机器换人度量方式可知每家公司相比基期 2012 年机器设备和劳动力人数的增减变动，在此基础上，继续以 $\Delta Machine$ 与 $\Delta Labor$ 的比值取绝对值再取自然对数构建机器劳动增量比 (MLR_Inc)，以此进一步衡量企业机器换人的强度，分别得到 $MLR1_Inc$ 、 $MLR2_Inc$ 。

$$MLR1 = Ln\left(\frac{Machine1}{Labor1}\right) \quad MLR2 = Ln\left(\frac{Machine1}{Labor1}\right) \quad (A4)$$

上述回归结果见附表 4，企业机器换人与权益资本成本的关系依然显著为负，因此本文研究结论依旧成立。

附表 4 稳健性检验IV：更换变量测算方法

VARIABLES	替换被解释变量				替换解释变量			
	RE_MPEG	RE_MPEG	RE_OJM	RE_OJM	RE_PEG	RE_PEG	RE_PEG	RE_PEG
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
$MLR1_Dum$	-0.265** (-2.12)		-0.298** (-2.40)					
$MLR2_Dum$		-0.249* (-1.92)		-0.281** (-2.21)				
$MLR1$					-0.544*** (-6.60)			
$MLR2$						-0.316*** (-4.18)		
$MLR1_Inc$							-0.015*** (-2.86)	
$MLR2_Inc$								-0.010* (-1.83)
Controls	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Firm&Year	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	15150	15150	14880	14880	15537	15537	7344	6408
Adj. R ²	0.54	0.54	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50

附录参考文献

- [1] 毛新述、叶康涛和张頔，《上市公司权益资本成本的测度与评价——基于我国证券市场的经验检验》，《会计研究》第 11 期，第 12~22+94 页。
- [2] 吴非、胡慧芷和林慧妍等，《企业数字化转型与资本市场变现——来自股票流动性的经验证据》，《管理世界》第 7 期，第 130~140+10 页。
- [3] Acemoglu, D., and Restrepo, P., 2020. “Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets”, *Journal of Political Economy*, 128(6):2188~2244.

限制，相关结果留存备案。

- [4] Bartik, T. J., 1991. "Who Benefits from State and Local Economic Development Policies?," Kalamazoo, Michigan: W.E. Upjohn Institute for Employment Research
- [5] Dube, A., Lester, T. W., and Reich, M., 2010. "Minimum Wage Effects across State Borders: Estimates Using Contiguous Counties", *The Review of Economics and Statistics*, 92(4):945~964.
- [6] Goldsmith-Pinkham, P., Sorkin, I., and Swift, H., 2020."Bartik Instruments: What, When, Why, and How", *American Economic Review*, 110(8): 2586~2624.