

## 机器人兴起对地区养老保险收入的影响

林 灵 曾海舰 向秋华\*

**内容提要** 论文首先利用上市公司数据考察了机器人兴起对企业养老保险缴费的影响，以探究地区养老保险基金收入变动的微观机理。事件研究证据表明，当公司机器人普及度出现重大上升之后，公司养老保险缴费数量呈现显著减少趋势；实证检验显示，机器人普及度上升1个分位导致公司养老保险缴费额减少约4%，主要原因在于机器人兴起导致公司雇佣和工资水平下降，低学历员工和生产部门员工受到的负面影响更大。随后，本文从省级层面实证检验机器人兴起对地区养老保险收入的影响，发现地区机器人普及度上升1个单位标准差，将使得所在地区城镇职工养老保险基金收入下降约10%，但对城乡居民养老保险基金收入没有显著影响。替代效应检验显示，机器人兴起导致城镇职工参保人数几乎同比减少，意味着存在明显的替代效应；劳动力重新配置效应检验显示，低学历与生产部门员工的再就业在一定程度上缓解了负面影响。

**关键词** 机器人兴起 养老保险基金收入 机器人普及度 养老保险缴费 公司雇佣

### 一 引言

自2012年以来，中国工业机器人使用数量经历了爆发性增长，从2014年开始，每年的机器人安装数量均为世界第一。机器人广泛使用能够极大提升生产效率，促进企业经营绩效，增强地区经济竞争力。但与此同时，逐渐浮现的人机之间利益冲突引起

\* 林灵，广西财经学院工商管理学院，电子邮箱：linling1686@163.com；曾海舰，广西大学经济学院，电子邮箱：zenghj06@126.com；向秋华（通讯作者），广西财经学院工商管理学院，电子邮箱：xqiuhua1966@163.com。作者感谢国家自然科学基金项目（72264003、72173035）、广西哲学社会科学规划研究课题（21FYJ030）和“广西高等学校千名中青年骨干教师培育计划”人文社会科学类立项课题（2023QGRW043）的资助。

学界及社会各界的强烈兴趣。世界经济论坛（WEF）报告显示，到 2025 年全球将有 8500 万个人工工作岗位被机器人所取代（World Economic Forum, 2020）。由此引发一个重要问题：如果机器人持续取代劳动者，劳动者将来的社会保险账户是否存在收入危机？在现收现付的社会保险收支体系中，现期的社保支付来自现期劳动者所缴纳的社保费用。如果机器人取代劳动者的比重持续上升，养老保险收入减少，则将来退休的劳动者很可能难以享受到足够的养老保障。随着中国社会人口老龄化程度逐渐上升，2023 年 60 岁及以上年龄人口总量为 2.97 亿人，占总人口比重达到 21.1%，规模日益庞大。可以预期，如果老龄化趋势持续深化，老年抚养比持续上升，中国将来的养老保险支出负担必然越来越重。因而，从学理上研究机器人兴起对中国养老保险收入的影响具有现实紧迫性和重要的政策价值。目前中国实行省级统筹的养老保险收支制度，地区机器人普及程度的差异很可能影响地区养老保险收入差异。同时，由于中国现行的养老保险体系中，基本养老保险采取了社会统筹和个人账户相结合的现收现付制度模式，地区养老保险收入主要来源于企业和个人所缴纳的养老保险费用。

为此，本文拟先使用公司层面样本数据从微观上考察企业机器人普及程度对其养老保险缴费的影响，为地区层面研究探索提供微观机理证据。其次，利用地区层面样本数据系统考察地区机器人普及度变动对养老保险收入所产生的经济后果，并重点检验替代效应和劳动力重新配置效应对地区养老保险收入的影响。本文的研究不但有助于从学理上深入识别以机器人大规模应用为基础的智能化发展带来的社会经济后果，也有助于引起社会各界以及有关部门对于经济新常态下养老保险收支体系可持续性的关注与思考，制定针对性的公共政策，实现经济智能化发展与养老保险收支体系可持续发展的双赢。

首先，本文考察了企业机器人应用程度对其养老保险缴费的影响。在中国现行的养老保险体系中，现期的养老保险支付来自现期单位和劳动者所缴纳的养老保险费用，我们合理猜测机器人普及度上升引起企业员工养老保险缴费下降，造成地区养老保险收入减少。为了验证这个猜测，我们构建了三种上市公司机器人普及度指标及相应的工具变量（IV），考察机器人兴起对上市公司养老保险缴费的影响。公司层面回归结果显示，机器人普及度提高显著减少了公司养老保险缴费总额和人均金额；从数量上衡量，机器人普及度每上升 1 个分位，公司养老保险缴费总额和人均金额均下降约 4%，具有很强的经济显著性。为了缓解普通最小二乘（OLS）回归可能存在的内生性问题（难以完全度量的社会经济因素同时影响公司养老保险缴费支出和机器人普及度），我们基于美国行业机器人数据构造了三种公司机器人普及度的工具变量，工具变量回归

结果与基准回归结果是一致的。进一步检验表明，对于期初低学历员工以及生产部门员工占比较高的公司，机器人普及度上升引致的养老保险缴费减少幅度更大。我们还发现，对于低学历员工以及生产部门员工占比较高的公司，机器人普及度上升使得公司雇佣和工资水平出现更大幅度的下降，这说明机器人兴起所替代的劳动者主要是低学历和生产流程上劳动技能较低的公司员工。

其次，本文考察了机器人兴起对地区养老保险收入的影响。我们借鉴 Acemoglu & Restrepo (2020) 的区域—行业巴蒂克 (Bartik) 工具变量构建思路，构造了地区层面机器人普及度指标，然后实证检验机器人普及度变动对地区养老保险收入的影响。基准 OLS 回归结果表明，机器人普及度对地区城镇职工养老保险收入具有显著负向效应，但对城乡居民养老保险收入的影响不显著，而工具变量回归结果与基准回归结果基本相同。从经济显著性衡量，实证检验结果显示机器人普及度上升 1 个单位标准差，将使得所在地区城镇职工养老保险基金收入下降约 10%，具有较强经济显著性。由于工业机器人应用场景主要发生在企业，而企业员工参与的社会保险种类为城镇职工养老保险，因而实证检验结果很可能意味着机器人替代企业员工的进程已经发生，导致企业缴纳养老保险费用（包括员工自缴部分）随之减少，从而引起地区养老保险收入下降。为了确认这个推断，我们进一步考察机器人普及度变动对地区养老保险参保人数的影响。实证检验结果发现，机器人普及度上升能够显著减少城镇职工养老保险参保人数，主要体现在城镇在职职工参保人数显著下降，但对城镇离退休职工和城乡居民参保人数没有显著影响。从数量上衡量，机器人普及度上升 1 个单位标准差，城镇在职职工参保人数下降约 11%，与机器人普及度上升引致的城镇职工养老保险收入减少幅度基本相同。这说明机器人对企业员工的替代效应确实存在，最终体现为地区养老保险收入的减少。

本文同时考察了机器人兴起对地区养老保险支出的影响。OLS 和工具变量回归结果均表明，在控制了地区生产总值 (GDP) 和人口总量因素后，机器人普及度对城镇职工和城乡居民的养老保险支出均没有显著影响；如果加入地区财政收支差额、养老保险缴费费率以及老年抚养比等变量之后，机器人普及度对城镇职工养老保险支出有较弱但显著的负向效应，但其引致的养老保险支出减少幅度小于养老保险收入下降幅度。这说明现收现付的社保收体系为应对机器人兴起引致的养老保险收入减少，在养老保险支出方面随之做了一定程度的向下调整，但由于养老保险支出具有刚性，其调整幅度相对较弱。综合以上养老保险收支的实证检验结果，可以看出机器人普及度提高恶化了地区养老保险收支状况。

根据 Acemoglu & Restrepo (2018a, 2018b, 2020), 机器人兴起具有劳动力重新配置效应, 即被机器人取代的劳动者可以转移到使用人工劳动技能更有优势的企业或行业之中。机器人兴起对地区养老保险收入的负向作用必然受到劳动力重新配置效应的影响, 因此本文接着考察了劳动力重新配置效应。实证检验结果表明, 在低学历和生产性群体就业比重较大的地区, 机器人普及度提高所引致的地区养老保险收入和参保人数下降幅度较弱, 体现出明显的劳动力重新配置效应。此外, 本文还发现影响劳动力流动的劳动力市场摩擦性因素(如《劳动合同法》的执行力度)也有助于缓解机器人兴起对地区养老保险收入的负面影响。

本文使用的机器人普及度指标本质属于 Bartik 类型变量, 是经过期初行业人数标准化的行业机器人存量的加权平均, 权数为期初地区行业就业人数占比。我们通过构建基于美国行业机器人存量的工具变量, 缓解了与行业机器人存量变动的内生性问题, 但初始地区行业就业份额也可能与难以观测的地区特征相关, 存在一定程度内生性。因此我们根据 Goldsmith-Pinkham et al. (2020) 的建议, 计算各行业初始份额的 Rotemberg 权重, 然后进行两类检验: 一是剔除 Rotemberg 权重最高的汽车行业样本, 重新计算地区机器人普及度指标, 再进行回归估计; 二是在回归估计中控制汽车行业就业人数初始占比(与年度虚拟变量交乘)。两类回归估计结果均与此前实证检验结果基本一致, 说明本文研究结论是稳健可靠的。

本文的主要贡献体现在两个方面。第一, 首次利用地区和上市公司样本数据深入探讨机器人兴起对中国地区养老保险收支水平的影响及其微观作用机理。目前大多数文献主要关注机器人兴起对劳动力市场就业和工资水平的影响(王永钦、董雯, 2020; Acemoglu & Restrepo, 2020; Dixon et al., 2021), 或对生产效率以及经营绩效等的提升效应(Acemoglu et al., 2020; Graetz & Michaels, 2018; Koch et al., 2021)。就作者们检索所及, 尚没有文献关注到机器人兴起对养老保险收支的影响, 本文可能是第一篇这方面的经验研究文献。第二, 本文研究揭示了机器人兴起对地区养老保险收入水平的负面效应及根源, 有助于学界深刻理解机器人兴起对社会保障领域的经济后果, 还有助于各级政府部门关注机器人普及对社保收支体系可持续性的潜在威胁, 及时采取政策对冲负面影响, 维持社保收支体系稳定运行, 在保证经济效率提升的同时增进本地区社会福利水平, 实现经济智能化发展与养老保险收支体系可持续发展的双赢局面。

本文结构安排如下: 第二部分是相关文献综述及可检验的研究假设, 第三部分为数据与实证策略说明, 第四部分是地区层面实证检验结果, 第五部分则是公司层面实证检验结果, 第六部分为结论。

## 二 相关文献综述与研究假设

### （一）相关文献综述

本文研究涉及机器人兴起对劳动力市场的影响研究。机器人与传统资本品不同，劳动力与资本品之间更多表现为互补关系，而机器人与劳动力之间更多表现为替代关系。Acemoglu & Restrepo (2018a, 2018b) 根据基于任务的生产函数构建了一个理论模型分析机器人对劳动力市场的影响，其理论模型表明存在一个平衡增长的均衡状态：一方面，机器人减少了当前劳动者的就业和工资水平；另一方面，新的更适合劳动者的工作职位被创造出来，可以给劳动者带来更高的就业和工资水平；但在长期，使用机器人导致劳动收入份额持续下降，收入分配不平等程度上升。目前的经验研究主要集中在机器人普及程度上升对劳动力市场就业和工资水平的影响检验，这方面影响比较大的文献是 Acemoglu & Restrepo (2020)。他们使用国际机器人联合会 (IFR) 的机器人数据正式考察了 1990 - 2007 年间美国通勤区机器人使用的效果，发现机器人普及程度上升可以显著降低区域雇佣总量以及平均工资水平。很多文献都提供了类似经验证据，即机器人普及存在较为显著的替代效应，其中低端技能劳动者被机器人取代的可能性最大 (Aghion et al., 2019; Arntz et al., 2016; Bonfiglioli et al., 2020; Dinlersoz & Wolf, 2023; Graetz & Michaels, 2018)。与此同时，也有一些文献发现机器人普及提高了生产效率，进而增加劳动雇佣数量 (Acemoglu et al., 2020; Dixon et al., 2021)。机器人兴起也导致了劳动力的重新配置，被机器人取代的劳动者可能流动到其他企业或行业 (Autor & Salomons, 2018)，特别是服务业 (Dauth et al., 2021)。

中国学者近年来开始对机器人普及所引致的经济后果进行认真思考，提醒大家注意在未来机器人很可能接管大部分工作，被取代的人有可能陷入生活困难，而如何未雨绸缪制定出相应的政策以保障人们的基本生活标准，是经济学家的责任。程虹等 (2018) 对中国企业—劳动力匹配调查 (CEES) 数据所做的分析显示，机器人已经对中国三分之一以上的制造业企业产生了较大影响，存在显著的“机器换人”替代效应，该效应在劳动密集型行业更大，主要体现在对非技能劳动者的替代；机器人使用促进企业绩效的提升，也提高了企业管理效率。Cheng et al. (2019) 分析了同样的 CEES 样本企业，也发现机器人兴起伴随着劳动者就业增速的下降，同时工资得到了增长。王永钦和董雯 (2020) 采用类似于 Acemoglu & Restrepo (2020) 的方法将 IFR 行业机器人数据分解到上市公司层面，然后考察了机器人普及程度上升对公司雇佣和工资水



平的影响，发现机器人兴起对企业员工的替代效应显著，但对工资没有显著作用。李磊等（2021）将工业企业数据与进口机器人数据进行匹配，发现机器人进口金额每增加 10%，则企业就业水平提升约 0.086%，表明其中存在显著的生产率提升效应；分行业回归显示机器人进口对劳动密集型行业产生了显著负向影响，说明也存在替代效应。陈媛媛等（2022）发现机器人应用导致低技能外来劳动力的流入率显著下降，但对区域总就业率没有明显影响。

本文研究还涉及养老保险收支方面的文献。即使不考虑机器人替代因素，根据现有研究测算，在假设一定的老龄化率、人口增长率以及死亡率等条件下，中国基本养老保险基金也将在未来 20 年后出现较大幅度缺口（金博轶、闫庆悦，2015；裴育、史梦昱，2019；王晓军、米海杰，2013；于洪、钟和卿，2009）。邓小莲（2020）指出，当前有三个因素对中国养老保险收支产生较大影响：一是近年来各地区大规模减税降费；二是机关事业单位人员的过渡性养老保险支出；三是人均预期寿命延长，领取养老保险的年限增加了。齐红倩和杨燕（2020）认为平均替代率对养老基金累积结余有负向效果，当人口老龄化程度较高时，替代率上升将会加速养老基金结余的消耗。于文广等（2017）对山东省的考察发现延迟退休增加了养老保险基金收入，减少了养老保险支出。王国洪等（2020）对省际面板数据的考察表明过高的养老保险费率对基金收支差额具有负面影响，降低养老保险费率可以改善养老保险基金收支状况；职工参保率对养老保险基金收支具有正向作用，制度赡养率则具有负向效果。

## （二）研究假设

根据中国养老保险省级统筹的收支体制，地区养老保险收入主要来自区域内企业和居民缴纳的养老保险费用。在中国现行的养老保险体制下，企业负担了大部分的法定养老保险缴纳费用，企业所需要缴纳的养老保险费用本质上是基于工资水平的工资税，因此企业每期所需支出的养老保险费用与该企业雇佣员工人数和工资水平紧密相关。理论上，现有的文献指出包括机器人使用在内的企业智能化应用程度提升对该企业雇佣员工人数和工资水平存在着替代效应和生产率效应<sup>①</sup>。一些学者认为机器人普及度提高将会减少企业的雇佣水平或工资水平（王永钦、董雯，2020）；但也有一些学者发现机器人兴起对企业生产率有正向影响，将会导致使用机器人的企业雇佣水平上升（而行业总体雇佣水平有可能下降）（李磊等，2021；Acemoglu et al., 2020；Dixon et al.,

<sup>①</sup> 由于劳动力重新配置效应来自劳动力跨企业流动，因而在企业层面的经验研究中很少提及该效应。

2021; Koch et al., 2021)。因而，我们推断如果替代效应占主导，则机器人普及对企业养老保险缴费具有负向的影响；如果生产率效应占主导，则机器人兴起对企业养老保险缴纳费用的影响显著为正（或不显著）。由此得到如下两个对立的可检验研究假设。

假设 1A：企业机器人普及程度上升，则该企业养老保险费用支出水平下降。

假设 1B：企业机器人普及程度上升，则该企业养老保险费用支出水平维持不变或上升。

机器人普及程度变动对地区养老保险收支的影响取决于增加使用机器人所引致的区域劳动力雇佣和工资水平变动的综合效应。已有的研究显示，机器人普及度提升对区域劳动力雇佣和工资水平的影响存在三个方面效应（Acemoglu & Restrepo, 2018a, 2018b; Acemoglu et al., 2020; Autor & Salomons, 2018）。一是替代效应，分为两种：直接替代效应，即减少对区域内企业常规性工作人员的雇佣（相应降低工资水平）；外溢替代效应，即同行业竞争企业使用机器人获得更大市场份额，使得区域内企业因为市场份额缩小而被迫减少雇佣规模（相应降低工资水平）。二是生产率提升效应，即生产率得到提升使得经营绩效上升以及市场份额扩大，因而产生对非常规性工作人员的增量需求（相应提高工资水平）。三是重新配置效应，即由于前两类效应引致的劳动力跨企业或行业重新配置，抵消替代效应对劳动力雇佣和工资水平的负面影响。在现实中三类效应交织共同发生作用，但具体影响大小和方向在现有经验研究中并没有取得共识。我们推断，如果替代效应占主导，则机器人普及对地区养老保险收入具有负向效应；如果生产率效应占主导，则影响效应将为正；而如果被机器人所替代的劳动力随后比较顺利地在该地区同一行业或其他行业找到相近工资水平的职位，则很可能不会对养老保险收入产生明显的影响或产生显著正向影响。由此得到如下两个对立的可检验研究假设。

假设 2A：地区机器人普及程度上升，则该区域的养老保险收入水平下降。

假设 2B：地区机器人普及程度上升，则该区域的养老保险收入水平提高。

根据 Acemoglu & Restrepo (2018a, 2018b)，机器人不容易替代的工作岗位是侧重人的创造力的创意型工作以及侧重使用人工技能（体力或手艺）的非程序化工作，前者适合高端技能劳动者，后者适合低端技能劳动者；最容易被机器人取代的工作岗位是有规范操作模式的程序化工作，这部分工作职位一直属于中等技能劳动者的就业范围。需要特别指出的是，在 Acemoglu & Restrepo (2018a, 2018b) 的理论模型中，不同类型的工作岗位应该被视为现实中不同类型行业或企业的抽象化，而非一个企业内部的不同工作岗位，单个企业可以被视为具有特定特征工作职位的企业。但在现实中，单个特定企业总是同时存在高中低端技能的劳动者。从美国和欧洲国家的经验证据看，当机器人应用在单个特定企业逐渐深化展开时，低端技能劳动者最可能被机器人取代

(Aghion et al., 2019; Bonfiglioli et al., 2020; Dinlersoz & Wolf, 2023; Graetz & Michaels, 2018), 中国的情况同样如此(陈媛媛等, 2022; 程虹等, 2018; 李磊等, 2021)。而根据 Autor & Dorn (2013) 的发现, 被工作智能化进程排挤出原有工作职位的低技能劳动者, 相对于中等技能劳动者, 更容易在依赖于人工技能的企业或行业中找到工作(如服务业), 实现劳动力的重新配置。Autor & Salomons (2018) 以及 Dauth et al. (2021) 也提供了类似的经验证据。在本文研究的情境中, 低学历和生产部门人员通常属于低技能劳动者, 这部分群体即使被机器人所取代, 也能够比较顺利地流动到同一区域侧重人工劳动技能、机器人普及度尚不高的企业或行业中, 从而在一定程度上缓解了机器人普及度提高对地区养老保险收入的负面影响。从中国劳动力市场的现实情况看, 大部分本科或研究生学历的劳动者从事的主要还是中等技能性质的职位, 容易被智能化或机器人替代, 且不容易再次就业<sup>①</sup>。因此我们认为如果劳动力重新配置效应存在, 则对于低学历和生产部门人员比例高的地区, 由于被替代的员工有很大可能性能够重新在其他企业或行业找到工作, 那么机器人普及度提高对该地区劳动雇佣和工资水平的负面效应相对较为缓和, 由此机器人兴起对该地区养老保险收入水平的负面影响也必然得到部分缓解。

当然, 在实际经济运行中, 劳动力重新配置受多方面影响。劳动力市场摩擦因素(劳动保护、最低工资等)在一定程度上能够减缓机器人替代劳动者的过程, 也有可能拖延被替代劳动者的再就业搜寻过程。现有文献证实, 中国劳动力市场上最低工资和劳动保护程度显著影响就业和工资水平(刘庆玉, 2016; 马双等, 2012; Akee et al., 2019), 最低工资增长过快有可能阻碍被机器人替代的劳动者顺利找到工作, 而较高的劳动保护程度则使得受到替代威胁的劳动者不容易被解雇。基于以上分析, 我们得出如下两个可检验的研究假设。

假设 3: 在低学历和生产部门人员占比较高的地区, 机器人普及程度上升导致的地区养老保险收入下降幅度较弱。

假设 4: 劳动力市场摩擦因素(劳动保护、最低工资等)调节了机器人普及程度上升对地区养老保险收入的负面效应: 最低工资标准上涨过快的地区, 机器人普及程度提高对地区养老保险收入的负面影响更大; 劳动保护程度高的地区, 机器人普及程度上升导致的地区养老保险收入下降幅度较弱。

---

① 确实也有部分高学历劳动者从事以创意为主的工作, 难以被替代。由于我们尚无法从现有的学历或工作职位数据将此部分劳动者识别出来, 因而本文不对高技能劳动者做出相应的研究假设。



### 三 数据与实证策略

#### (一) 数据说明

本文所使用的数据涉及多个来源。机器人数据来自国际机器人联合会（IFR）提供的中国行业一年度工业机器人存量和安装数据，数据期限为2012–2019年；在构造工具变量时，还使用了同期美国的行业一年度工业机器人数据。地区层面养老保险收支、参保人数、人口以及相关经济数据来自国泰安的人口老龄化数据库以及地区经济数据库。计算机器人普及度指标时所使用的各地区细分行业就业数据来自中国研究数据服务平台（CNRDS）。2010年各地区细分行业就业的学历结构和职业结构数据来自《2010年中国人口普查年鉴》。企业养老保险缴费、雇佣员工数量、工资以及相关财务数据来自国泰安的上市公司基本信息、财务以及财务报表附注等数据库。由于回归方程的解释变量为滞后一期，因此在回归中实际样本期限为2012–2020年。主要变量的构建说明如下。

#### 1. 机器人普及度变量

根据 Acemoglu & Restrepo (2020)，地区层面机器人普及度的构造如下：

$$\begin{aligned} \text{第 } t \text{ 年地区 } i \text{ 机器人普及度} &= \sum_j \frac{\text{2012 年地区 } i \text{ 行业 } j \text{ 就业人数}}{\text{2012 年行业 } j \text{ 就业人数}} \\ &\times \frac{\text{第 } t \text{ 年行业 } j \text{ 机器人数量}}{\text{2012 年行业 } j \text{ 就业人数}} \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中就业人数以百人为单位，机器人数量以个为单位。该指标的构建思路是将行业机器人数量按照某一初始年份的地区行业就业占比分解到各地区，得到每个地区的行业机器人普及度，然后将地区内每个行业该指标相加形成地区层面机器人普及度指标。我们按照 Acemoglu & Restrepo (2020) 的行业划分标准，将中国各行业归类为19个行业。应用类似思路，参考王永钦和董雯 (2020) 可以得到公司层面机器人普及度指标：

$$\begin{aligned} \text{第 } t \text{ 年公司 } i \text{ 机器人普及度} &= \frac{\text{2012 年公司 } i \text{ 员工人数}}{\text{2012 年公司 } i \text{ 所处行业就业人数}} \\ &\times \frac{\text{第 } t \text{ 年公司 } i \text{ 所处行业机器人数量}}{\text{2012 年公司 } i \text{ 所处行业就业人数}} \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)中行业就业人数以千人为单位，机器人数量仍旧以个为单位<sup>①</sup>。由于公司

<sup>①</sup> 公司员工人数占行业就业的份额一般比较低（相对于地区行业就业份额而言），因而我们在此处以千人为单位以缓解所得指标数值过小的问题。

层面机器人普及度指标的分布存在较大程度的不规则（具体参见本文描述性统计部分），我们将同时使用三种方式度量公司机器人普及度的分布：一是将公司机器人普及度对数化；二是将该指标按照从低到高排列分为 20 等份，以其排列分位序号为公司机器人普及度的代理变量；三是构造公司机器人普及大事件变量，设为虚拟变量，如果本期发生了机器人普及的重大事件则为 1（本期公司机器人普及度增长超过同期行业平均值的 50%，则认定该公司发生了机器人普及的重大事件），否则为 0。

### 2. 养老保险收支、参保人数和缴费变量

上市公司层面的养老保险缴费总额是该公司所缴纳养老保险费总额的对数值，人均养老保险缴费额则为缴费总额除以员工总数之后的对数值。公司养老保险缴纳数据从上市公司财务报表附注中的应付职工薪酬明细项目中手工收集整理而得，在整理过程中我们只保留企业缴纳的基本养老保险费用金额，而剔除掉补充养老保险、非统筹养老保险、企业年金等属于特定公司福利性质的保险费用支出。

地区层面的城镇职工养老保险收入或支出定义为城镇职工基本养老保险基金收入或支出的对数，城乡居民养老保险收入或支出定义为城乡居民基本养老保险基金收入或支出的对数；城镇职工养老保险参保人数、城镇在职职工养老保险参保人数、城镇离退休职工养老保险参保人数以及城乡居民养老保险参保人数等均为该类实际参保人数的对数值。由于中国目前实行的是省级养老保险收支统筹体制，因而以上变量值均为省际数据<sup>①</sup>。其中，城镇职工基本养老保险的参保对象主要为城镇企业和事业单位职工，城乡居民养老保险的参保对象则是 16 岁以上（不含在校学生）非企事业单位的城镇居民和农村居民。

### 3. 其他变量

在公司层面，雇佣员工数量定义为公司在职员工总数的对数；工资总额为公司本期应付职工薪酬贷方发生额的对数；员工增长率定义为（本年度员工总人数 - 上一年度员工总人数）/上一年度员工总人数；人均工资定义为工资总额/员工总人数；资产负债率定义为负债总额/资产总额；现金持有比例定义为（货币资金 + 交易性金融资产）/总资产；资产利润率定义为净利润/总资产；投资率定义为（购建固定资产、无形资产和其他长期资产支付的现金 + 投资支付的现金）/总资产。对于存在异常值的公司层面变量，我们统一做了 1% 的截尾处理（两边各 0.5%）。

在地区层面，地区生产总值定义为地区生产总值的对数；地区人口总数定义为地

<sup>①</sup> 目前不存在地市级的养老保险统筹基金。

区人口数量的对数；地区财政收支差额定义为（一般预算收入 - 一般预算支出）/地区生产总值；地区养老保险费率定义为各地区规定的单位养老保险缴费费率<sup>①</sup>；地区老年抚养比定义为各地区 65 岁以上人口数量/15 ~ 64 岁人口数量。

表 1 给出了以上变量的描述性统计。可以看到相对于其他变量（特别是地区机器人普及度），公司机器人普及度的偏度和峰度都明显过大。这主要是由于两方面原因：一是在计算公司机器人普及度时，相当一部分公司的员工人数相对于全行业就业人数而言占比过低，该变量中相当比例指标数值接近于 0；二是由于存在投资的固定成本，公司投资分布向来呈现尖峰厚尾，即公司在多数年份不投资，但在若干年份进行大量投资支出（Cooper & Haltiwanger, 2006）。公司机器人普及度指标的特征给回归分析造成一定程度的挑战：该指标微小的变动并不一定反映公司机器人应用的真实情况，只有该指标变化幅度达到一定程度才能体现公司在机器人上的投资变动。为了避免公司机器人普及度指标可能对回归估计的误导，确保回归分析的稳健性，在公司层面实证检验时我们将同时使用公司机器人普及度对数、公司机器人普及度分位以及公司机器人普及大事件三种方式度量公司机器人普及度。这三种指标分别从不同方面反映公司机器人普及度指标的分布特征，可以有效避免指标分布不规则对回归估计结果的扭曲。

表 1 描述性统计

变量	样本量	均值	标准差	偏度	峰度	最小值	最大值
地区机器人普及度	248	0.273	0.348	2.528	11.646	0.000	2.426
城镇职工养老保险收入	279	6.693	0.976	-1.021	4.530	2.902	8.629
城乡居民养老保险收入	279	4.212	0.970	-0.497	3.016	1.441	6.225
城镇职工养老保险支出	279	6.591	1.007	-1.124	5.048	2.489	8.233
城乡居民养老保险支出	279	3.832	1.037	-0.535	2.942	0.871	5.870
城镇职工养老保险参保人数	279	6.721	1.040	-1.336	5.883	2.589	8.593
城镇在职职工养老保险参保人数	279	6.376	1.054	-1.134	5.470	2.289	8.490
城镇离退休职工养老保险参保人数	279	5.446	1.024	-1.672	6.793	1.239	6.872
城乡居民养老保险参保人数	279	6.950	1.124	-0.749	2.487	4.333	8.567
地区生产总值	279	9.783	0.974	-0.902	3.908	6.553	11.615
地区人口总数	278	8.138	0.834	-1.022	3.712	5.729	9.443

① 个人养老保险缴费费率各地区基本一致，没有变动，因而没有列入该项费率。

续表

变量	样本量	均值	标准差	偏度	峰度	最小值	最大值
地区财政收支差额	279	-0.174	0.207	-3.58	17.147	-1.244	-0.014
地区养老保险费率	270	0.187	0.018	-0.881	2.711	0.140	0.220
地区老年抚养比	279	0.146	0.038	0.502	2.770	0.070	0.255
公司机器人普及度	16147	0.007	0.081	40.023	2080.637	0.000	5.254
养老保险缴费总额	18269	16.732	1.503	0.332	3.975	9.063	25.131
人均养老保险缴费额	18269	8.844	0.761	-0.712	5.216	3.270	15.755
雇佣员工数量	18269	7.888	1.247	0.497	3.620	4.615	13.215
工资总额	18269	19.273	1.318	0.625	3.846	13.817	25.354
员工增长率	18269	0.093	0.435	5.634	44.186	-0.606	3.917
人均工资	18269	11.627	0.527	0.527	3.622	10.321	13.427
资产负债率	18269	0.453	0.212	0.174	2.289	0.042	0.975
现金持有比例	18269	0.180	0.128	1.519	5.673	0.009	0.774
资产利润率	18269	0.029	0.071	-2.457	16.308	-0.406	0.249
投资率	18269	0.152	0.265	4.315	26.573	0.000	2.165

资料来源：根据国际机器人联合会（IFR）、国泰安数据库、《中国 2010 年人口普查资料》计算得到。

## （二）实证策略

对于研究假设 1 和 2，本文实证检验所使用的回归方程如下：

$$Y_{it} = \alpha + \beta \cdot Exposure_{it-1} + \gamma \cdot X_{it-1} + h_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式（3）中  $Y_{it}$  为地区或公司层面的结果变量（下标  $i$  代表地区或公司），如地区养老保险收入、公司养老保险缴费总额；主要解释变量为滞后一期的地区或公司的机器人普及度指标  $Exposure_{it-1}$ ； $X_{it-1}$  为一组地区或公司层面的特征变量， $h_i$  为地区或公司固定效应， $\tau_t$  为年度固定效应， $\varepsilon_{it}$  为随机扰动项。回归方程（3）存在一定程度的内生性：地区养老保险收入上升（公司养老保险缴费额提高）有可能迫使该地区企业更多采用机器人，而不可观察的宏观或地区经济因素也可能同时影响地区（公司）养老保险收入（缴费额）以及机器人普及程度。在这种情况下，回归方程（3）的 OLS 估计通常会低估机器人普及度变动对地区（公司）养老保险收入（缴费额）的影响。为了缓解内生性偏误，根据 Acemoglu & Restrepo（2020），我们构建了基于美国行业机器人数据的工具变量。美国各行业机器人普及度的提高代表了国际范围内机器人应用的大趋势，这部分变动与中国对应行业机器人普及度上升紧密关联，但与中国地区和公司层面因素显然没有直接关联，因而是比较理想的工具变量。地区层面回归使用的工具变量如下：

$$\begin{aligned} \text{第 } t \text{ 年地区 } i \text{ 机器人普及度工具变量} = & \sum_j \frac{\text{2012 年地区 } i \text{ 行业 } j \text{ 就业人数}}{\text{2012 年行业 } j \text{ 就业人数}} \\ & \times \frac{\text{第 } t \text{ 年美国行业 } j \text{ 机器人数量}}{\text{2012 年美国行业 } j \text{ 就业人数}} \end{aligned} \quad (4)$$

式 (4) 中 2012 年美国行业就业人数来自美国国民经济研究局数据库。公司层面回归使用的工具变量构造步骤为：

第一步，构造公司层面基于美国行业机器人数据的工具变量：

$$\begin{aligned} \text{第 } t \text{ 年公司 } i \text{ 机器人普及度工具变量} = & \\ & \frac{\text{2012 年公司 } i \text{ 员工人数}}{\text{2012 年公司 } i \text{ 所处行业就业人数}} \\ & \times \frac{\text{第 } t \text{ 年公司 } i \text{ 所处行业对应的美国行业机器人数量}}{\text{2012 年公司 } i \text{ 所处行业对应的美国行业就业人数}} \end{aligned} \quad (5)$$

第二步，将式 (5) 计算所得指标分别取对数、20 分位排序以及按照前述方法构造基于美国行业数据的机器人普及度大事件变量，分别作为公司层面机器人普及程度对应度量方式的工具变量。

对于研究假设 3，本文拟使用的回归方程如下：

$$\begin{aligned} Y_{it} = & \alpha + \rho \cdot \text{Lowskill}_{i,2010} \cdot \text{Exposurerobots}_{it-1} + \beta \cdot \text{Exposurerobots}_{it-1} \\ & + \gamma \cdot X_{it-1} + h_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (6)$$

式 (6) 中  $\text{Lowskill}_{i,2010}$  为根据 2010 年全国人口普查所得到的分地区学历结构或职位结构变量，交乘项系数反映了被机器人替代的低学历或生产部门员工在区域内重新工作对地区养老保险收入所产生的影响（劳动力重新配置效应）。

对于研究假设 4，本文拟使用的回归方程如下：

$$\begin{aligned} Y_{it} = & \alpha + \varphi \cdot \text{Labormarketfriction}_{it-1} \cdot \text{Exposurerobots}_{it-1} \\ & + \beta \cdot \text{Exposurerobots}_{it-1} + \gamma \cdot X_{it-1} + h_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (7)$$

式 (7) 中， $\text{Labormarketfriction}_{it-1}$  为劳动力市场摩擦因素，包含最低工资增长率和地区法律制度环境指数，交乘项反映了区域劳动力市场摩擦性因素（如《劳动合同法》的执行力度）差异所产生的机器人兴起对地区养老保险收入的异质性影响（异质性效应）。

#### 四 公司层面实证检验结果

在中国现行的养老保险体系中，地区城镇职工养老保险收入主要来自企事业单位



的职工养老保险缴费，企业需要缴纳的养老保险费用本质上是基于工资水平的工资税，与该企业雇佣员工人数和工资水平紧密相关。已有研究显示，企业使用机器人将会引致企业雇佣水平或工资水平的变动，这将引起企业养老保险缴费的变动，这些微观经济后果汇总到地区层面就表现为地区养老保险参保人数以及养老保险收入的变动。为此，本部分将利用上市公司数据，实证检验公司机器人普及度变动对其养老保险缴费的影响，为地区层面研究结果提供微观机理证据。

### （一）基准回归

本部分首先从直观上考察公司机器人普及度上升对公司养老保险缴费的影响。我们定义公司机器人普及的重要大事件：本期公司机器人普及度增长超过同期行业平均值的 50%，则认定该公司发生了机器人普及的重大事件。此类事件一般发生在公司大规模投资机器人之时。图 1 描述了发生机器人普及重大事件的公司的事件前后的养老保险缴费水平。为了剔除年度宏观因素的影响，我们分年度进行考察（如 2015 年的虚线代表 2015 年发生机器人普及大事件的公司的事件发生前后各期的平均养老保险缴费金额，其余年度虚线表示的含义类似）。我们将考察年度限制在 2013 - 2017 年，这样可以保持事件后足够的时期数，以便更清楚呈现事件后公司缴费的趋势。从图 1 可以看到，无论哪一个年度，机器人普及重大事件发生前的公司平均养老保险缴费额约为 4 亿元，而在事件发生之后出现了较大的降幅，最大降幅达到 3 亿元，这充分说明机器人兴起对公司养老保险支出的负面冲击具有较强的经济显著性。

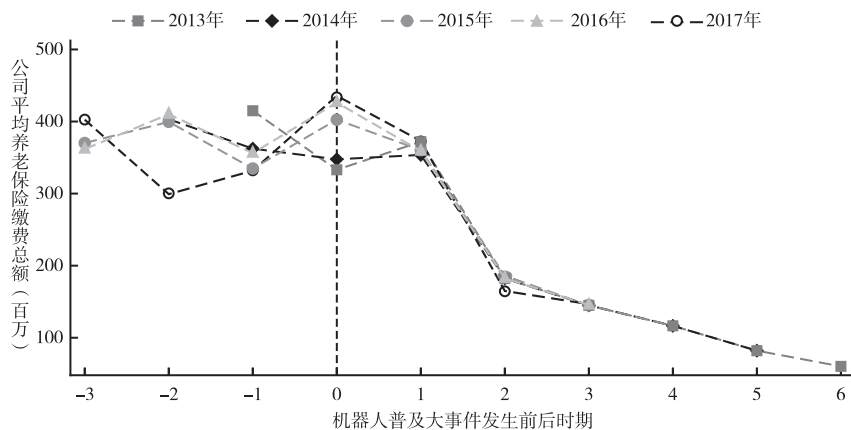


图 1 机器人普及度重大提升前后的公司养老保险缴费情况

资料来源：根据国际机器人联合会（IFR）、国泰安数据库计算得到。

表2给出了公司机器人普及度影响其养老保险缴费水平的工具变量回归估计结果。基于数据说明部分的理由，由于公司机器人普及度反映了公司机器人投资水平，为避免公司机器人普及度指标微小变动可能对回归估计造成误导，我们在回归中同时使用三类公司层面机器人普及度变量（公司机器人普及度对数、公司机器人普及度分位以及公司机器人普及大事件变量）以确保回归结果的稳健可靠。

从工具变量回归第一阶段估计结果可以看到，基于美国行业机器人数据所构造的三类工具变量均与相应的公司机器人普及度指标呈显著正相关，且都通过了识别不足（UIT）和弱工具变量（WIT）检验。第二阶段（一）是因变量为养老保险缴费金额对数的回归结果。为了控制公司雇佣规模对养老保险支出水平的影响，在第二阶段回归中加入公司雇佣员工数量的对数。此外还加入资产负债率、现金持有比例、资产利润率以及投资率，以控制公司财务、盈利以及投资机会等因素对其养老保险缴费的影响。为了控制公司所在地区因素的影响，还加入地区生产总值对数、地区人口总数对数、地区财政收支差额、养老保险费率以及老年抚养比等变量。同时，第二阶段（一）中也列出了OLS估计结果作为比较。可以看到，无论是工具变量回归还是OLS，三类公司机器人普及度变量对公司养老保险缴费总额均有显著负向效应，大部分系数估计值显著性在1%以内。第二阶段（二）是公司机器人普及度对人均养老保险缴费支出的影响，可以看到其估计结果与第二阶段（一）基本相同，三类机器人普及度变量系数均显著为负，表明公司机器人应用程度上升还导致人均缴费支出的减少，这意味着机器人普及度上升不但造成公司雇佣水平下降，还有可能造成公司工资水平降低，符合替代效应的推论，但不符合生产率效应的推论。

从数量效应上衡量，公司机器人普及度上升10%，将导致公司养老保险缴费总额下降0.7%；公司机器人普及度每上升一个分位，导致养老保险缴费总额下降4.4%；当公司发生机器人普及度急剧上升的大事件时，其后养老保险缴费总额将会有26.5%的巨大跌幅。由此可见，三类变量的系数估计值均具有较强的经济显著性，符合研究假设1A的预期。如前所述，由于存在投资固定成本，公司投资行为一般兼具惰性与尖峰突起的特征（Cooper & Haltiwanger, 2006），连续型的机器人普及度变量（公司机器人普及度对数）在回归估计中有可能低估了机器人应用对养老保险缴费的负面效应，而机器人普及大事件变量又有可能高估了负面效应（我们对机器人普及重大事件的认定确实也存在一定的主观性）。因此相对而言，公司机器人普及分位是一个比较合适的度量指标，我们在接下来的回归检验中将主要使用该指标。

表 2 公司机器人普及度与养老保险缴费

第一阶段	公司机器人普及度对数		公司机器人普及度分位		公司机器人普及大事件	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
公司机器人普及度对数工具变量	0.602 *** (0.014)					
公司机器人普及度分位工具变量		0.512 *** (0.026)				
公司机器人普及大事件工具变量					0.167 *** (0.013)	
UIT	437.170 ***		400.050 ***		143.120 ***	
WIT	1892.830 ***		382.190 ***		173.700 ***	
样本量	13663		13663		13663	
养老保险缴费总额						
第二阶段 (一)	OLS	IV	OLS	IV	OLS	IV
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
滞后期公司机器人普及度对数	-0.038 ** (0.015)	-0.071 *** (0.022)				
滞后期公司机器人普及度分位			-0.015 *** (0.005)	-0.044 *** (0.013)		
滞后期公司机器人普及大事件					-0.078 *** (0.016)	-0.265 *** (0.091)
样本量	13663	13663	13663	13663	13663	13663
R <sup>2</sup>	0.933	0.295	0.933	0.292	0.933	0.290
人均养老保险缴费额						
第二阶段 (二)	OLS	IV	OLS	IV	OLS	IV
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
滞后期公司机器人普及度对数	-0.035 ** (0.015)	-0.058 *** (0.020)				
滞后期公司机器人普及度分位			-0.013 *** (0.005)	-0.036 *** (0.012)		
滞后期公司机器人普及大事件					-0.062 *** (0.015)	-0.221 *** (0.080)
样本量	13663	13663	13663	13663	13663	13663
R <sup>2</sup>	0.762	0.014	0.762	0.011	0.762	0.009

注：所有回归均包含公司控制变量、地区控制变量、公司固定效应和年度固定效应；括号内为稳健标准误；\*、\*\*、\*\*\* 分别表示系数在 10%、5%、1% 水平上显著。

资料来源：根据国际机器人联合会 (IFR)、国泰安数据库、《中国 2010 年人口普查资料》计算得到。

## (二) 机器人普及度、员工结构与公司养老保险缴费

上一部分发现机器人普及度上升引起公司养老保险缴费支出显著减少，符合替代效

应的理论逻辑，本部分继续考察养老保险缴费减少主要来自何种类型员工被机器人所替代。根据现有文献（Aghion et al., 2019；Bonfiglioli et al., 2020；Dixon et al., 2021），我们预期低技能劳动者更容易被替代，从而引起公司养老保险缴费水平下降。为此，我们构造期初（2012年）低学历员工比例（低学历定义为高中、技校、职业学校等学历及以下）、高学历员工比例（高学历定义为硕士和博士研究生学历）以及生产部门员工比例变量，与公司机器人普及度分位交乘，放入回归方程中进行工具变量回归估计。表3给出了回归估计结果，可以看到低学历或生产部门员工比例与公司机器人普及度分位交乘项系数在1%水平上显著为负，表明低学历或生产部门员工占比越高，则机器人普及度提升导致的养老保险缴费下降幅度就越大；而高学历员工比例的分位交乘项系数不显著，表明机器人替代并未影响到公司高学历群体。综合表3的实证检验结果，可以判断公司养老保险缴费额下降主要源于机器人替代了相对常规化、程序化工作的员工，这符合机器人替代效应的推断（Acemoglu & Restrepo, 2018b），也与现有关于机器人影响劳动力市场工资和就业的经验文献结论一致。

### （三）机器人普及度与公司雇佣状况

养老保险费用属于工资税，公司的养老保险缴费总额来自公司雇佣规模和工资水平的综合结果。本部分考察公司机器人普及度对其雇佣和工资的影响，以便确认本文研究假设1的内在机理是否符合实际情况。我们分别检验了机器人普及度变动对公司雇员数量、员工增长率、工资总额和人均工资的影响效应，发现随着机器人普及度上升，低学历或生产部门员工比例高的公司减少了更多的雇佣员工数量，公司就业增速下降，工资总额显著减少；而在机器人替代的压力下，无论公司员工就业结构如何，其人均工资水平都显著下降。这些实证检验结果与王永钦和董雯（2020）基本一致，也符合前文关于公司养老保险缴费实证研究的结论，因此假设1A的内在机理是成立的<sup>①</sup>。

表3 公司机器人普及度、员工结构与养老保险缴费

	养老保险缴费总额					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
滞后期公司机器人普及度分位	-0.046 *** (0.012)	-0.034 *** (0.013)	-0.054 *** (0.012)	-0.043 *** (0.013)	-0.044 *** (0.012)	-0.032 ** (0.013)
滞后期公司机器人普及度分位×2012年低学历员工比例	-0.016 *** (0.006)	-0.017 *** (0.006)				

① 由于篇幅有限，此部分省略了详细的实证结果。如有需要，可向作者索取。

续表

	养老保险缴费总额					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
滞后期公司机器人普及度分位×2012 年高学历员工比例			-0.086 (0.079)	-0.081 (0.090)		
滞后期公司机器人普及度分位×2012 年生产部门员工比例					-0.013 *** (0.004)	-0.014 *** (0.004)
样本量	16000	13663	16000	13663	16000	13663
R <sup>2</sup>	0.283	0.293	0.281	0.292	0.282	0.292

注：所有回归均包含公司控制变量、地区控制变量、公司固定效应和年度固定效应；括号内为稳健标准误；\*、\*\*、\*\*\* 分别表示系数在 10%、5%、1% 水平上显著。

资料来源：根据国际机器人联合会（IFR）、国泰安数据库、《中国 2010 年人口普查资料》计算得到。

## 五 地区层面实证检验结果

机器人普及程度的提高，一方面可能通过替代效应引起所在地区的养老保险收入减少，另一方面有可能通过劳动力重新配置效应维持甚至提升地区养老保险收入。为此，本部分将利用地区层面数据系统考察机器人普及对地区养老保险收入的影响。

### （一）基准回归

表 4 给出机器人普及对地区养老保险收入影响的基准回归结果。为了体现回归估计结果的因果含义，排除其他传导渠道的干扰，我们同时考察机器人普及对城镇居民和城乡居民养老保险收入与支出的影响。如前所述，与企业职工相关的主要险种是城镇职工养老保险，因而如果研究假设 1 成立，则意味着机器人普及度对城镇职工养老保险收入的影响系数应该显著为负，而对城乡居民养老保险收入的影响系数不显著。由于地区养老保险收支水平与地区经济规模、人口规模密切相关，回归中除了控制地区和年度固定效应之外，还加入了随时间变动的地区生产总值与人口总数变量。此外，地区养老保险收支水平也与地区财政状况与养老负担相关，因而我们进一步将地区财政收支差额、养老保险费率以及老年抚养比等变量加入回归方程中。

从表 4 模型（1）~（4）可以看到，无论是否控制地区财政与养老负担因素，滞后一期机器人普及度均对城镇职工养老保险收入产生显著为负的影响；而在控制了地区财政与养老负担因素之后，机器人普及度对城乡居民养老保险收入没有显著影响。在中国现收现付的养老保险收支体制下，地区养老保险基金支出往往受到基金收入的制约（邓大松等，2019；郭瑜、张寅凯，2019；李琼等，2018）。因此我们合理推测当地区城镇职工养老保险收入减



少时，地方社保部门可能采取一定的弹性措施减少支出以确保养老保险收支可持续性。表4模型(5)~(8)为城镇职工与城乡居民养老保险支出影响因素的回归。可以看到如果只控制地区生产总值和人口数，机器人普及度对城镇职工养老保险支出没有显著作用；控制地区财政和养老负担因素之后，机器人应用对城镇职工养老保险支出的影响在10%水平上显著为负。这说明地区养老保险支出具有一定的刚性，机器人应用引致的地区养老保险支出下降效应较弱。还可以看到，机器人普及度对城乡居民养老保险支出的影响在两个回归中都不显著，这与城乡居民养老保险收入的回归结果是一致的，也符合本文研究假设的逻辑。

表4 机器人普及度与地区养老保险收入：基准回归

	城镇职工养老保险收入		城乡居民养老保险收入		城镇职工养老保险支出		城乡居民养老保险支出	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
滞后期地区机器人普及度	-0.233 ** (0.095)	-0.269 *** (0.086)	-0.127 ** (0.054)	-0.056 (0.126)	-0.131 (0.086)	-0.182 * (0.091)	-0.003 (0.059)	0.028 (0.086)
滞后期地区生产总值	0.212 (0.151)	0.502 * (0.247)	0.264 (0.212)	0.532 ** (0.225)	0.147 (0.153)	0.379 (0.231)	-0.053 (0.120)	0.062 (0.137)
滞后期地区人口总数	3.372 (2.050)	2.083 (2.084)	-1.052 (1.103)	-1.757 (1.228)	3.679 (2.241)	2.724 (2.369)	0.436 (0.824)	-0.283 (0.798)
滞后期地区财政收支差额		-2.420 (1.821)		-2.531 *** (0.915)		-1.828 (1.495)		-1.103 (0.707)
滞后期地区养老保险费率		0.151 (2.283)		1.638 (3.416)		1.657 (1.988)		-0.505 (1.876)
滞后期地区老年抚养比		-1.784 * (1.007)		-1.873 (1.790)		-0.844 (0.994)		-1.789 (1.431)
样本量	248	240	248	240	248	240	248	240
R <sup>2</sup>	0.983	0.984	0.967	0.967	0.984	0.985	0.983	0.983

注：所有回归均包含地区控制变量、地区固定效应和年度固定效应；括号内为稳健标准误；\*、\*\*、\*\*\* 分别表示系数在10%、5%、1%水平上显著。

资料来源：根据国际机器人联合会（IFR）、国泰安数据库、《中国2010年人口普查资料》计算得到。

## (二) 工具变量回归

表5给出了工具变量回归的第一阶段和第二阶段估计结果。从第一阶段估计结果可以看到，基于美国行业机器人数据所构造的工具变量对地区机器人普及度具有显著的正向关联，均拒绝了工具变量识别不足（UIT）和弱工具变量（WIT）的原假设。从第二阶段的估计结果可以看到，机器人普及度的工具变量回归结果与表4的OLS估计结果基本一致：机器人普及度对城镇职工养老保险收入具有显著负向效应，对城镇职工养老保险支出的负向效应较弱，对城乡居民养老保险收支基本没有显著影响。还可

以看到机器人普及度工具变量回归的系数估计大于 OLS 估计，符合前文对工具变量系数的预期。从经济意义上衡量，地区机器人普及度上升 1 个单位标准差，将使得所在地区城镇职工养老保险基金收入下降约 10%，具有较强的经济显著性。综合表 4 和表 5 的结果，可以认为机器人普及度上升对地区养老保险收入的影响主要表现为替代效应（因而造成了地区养老保险收入显著减少），研究假设 2A 成立。

表 5 地区机器人普及度与养老保险收入：工具变量回归

第一阶段	地区机器人普及度							
	(1)				(2)			
地区机器人普及度	1.124 ***				1.021 ***			
工具变量	(0.034)				(0.057)			
UIT	5.599 **				16.770 ***			
WIT	1111.160 ***				319.310 ***			
样本量	248				240			
第二阶段	城镇职工养老保险收入		城乡居民养老保险收入		城镇职工养老保险支出		城乡居民养老保险支出	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
滞后期地区机器人普及度	-0.254 **	-0.286 **	-0.162 **	-0.085	-0.167	-0.223 *	-0.022	-0.004
	(0.105)	(0.105)	(0.066)	(0.141)	(0.101)	(0.126)	(0.070)	(0.099)
样本量	248	240	248	240	248	240	248	240
R <sup>2</sup>	0.218	0.297	0.023	0.048	0.169	0.208	0.001	0.023

注：第一阶段第（1）列、第二阶段第（1）、（3）、（5）、（7）列为只控制滞后期地区生产总值以及滞后期地区人口总数的回归结果；第一阶段第（2）列、第二阶段第（2）、（4）、（6）、（8）列为增加了滞后期地区财政收支差额、滞后期地区养老保险费率、滞后期地区老年抚养比等控制变量的回归结果；所有回归均包含地区固定效应和年度固定效应；括号内为稳健标准误；\*、\*\*、\*\*\* 分别表示系数在 10%、5%、1% 水平上显著。

资料来源：根据国际机器人联合会（IFR）、国泰安数据库、《中国 2010 年人口普查资料》计算得到。

### （三）机理检验之一：替代效应

以上两部分实证检验结果显示研究假设 2A 通过检验，这意味着机器人对劳动者的替代效应占据主导地位。如果存在这样的影响机理，则可以推断地区机器人普及度上升将会显著降低城镇职工参保人数，而对城乡居民参保人数没有明显影响。为了加强回归估计的因果解释力度，我们还将城镇职工参保人数进一步分为在职职工和离退休职工参保人数，预期机器人应用只会影响在职职工参保人数，对离退休职工参保人数没有影响。表 6 给出了机器人普及与地区养老保险参保人数的 OLS 和工具变量回归估计结果，可以看到机器人普及度上升显著负向影响城镇职工参保人数，且该负向效应只体现在在职职工参保人数，而对离退休职工参保人数没有显著作用。同时，机器人普及度对城乡

居民养老保险参保人数没有显著影响，符合研究预期。从数量上衡量，机器人普及度上升 1 个单位标准差，城镇在职职工参保人数下降约 11%（以第 4 列 IV 估计值为准），与同期城镇职工养老保险收入减少幅度基本相同。这说明机器人对企业员工的替代效应确实存在，由此导致了地区养老保险收入的减少。此外，表 6 的 OLS 估计值均低于 IV 估计值，与以上两部分实证检验结果是一致的，这也说明本文的实证检验结果是可靠的。

表 6 地区机器人普及度与养老保险参保人数

	城镇职工养老保险参保人数		城镇在职职工养老保险参保人数		城镇离退休职工养老保险参保人数		城乡居民养老保险参保人数	
	OLS	IV	OLS	IV	OLS	IV	OLS	IV
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
滞后期地区机器人普及度	-0.246 *** (0.063)	-0.285 *** (0.083)	-0.288 *** (0.064)	-0.330 *** (0.090)	-0.098 (0.074)	-0.110 (0.096)	-0.034 (0.071)	-0.029 (0.077)
样本量	240	240	240	240	240	240	240	240
R <sup>2</sup>	0.995	0.393	0.994	0.442	0.996	0.198	0.999	0.436

注：所有回归均包含地区控制变量、地区固定效应和年度固定效应；括号内为稳健标准误；\*、\*\*、\*\*\* 分别表示系数在 10%、5%、1% 水平上显著。

资料来源：根据国际机器人联合会（IFR）、国泰安数据库、《中国 2010 年人口普查资料》计算得到。

#### （四）机理检验之二：劳动力重新配置效应

本部分我们检验机器人兴起对地区养老保险收入影响的劳动力重新配置效应。我们使用两个变量测度地区的低技能劳动者所占比重：一是地区就业人口中低学历比重（低学历定义为高中学历及以下）；二是地区就业人口中生产部门就业比重。两个变量的数据均来自《中国 2010 年人口普查资料》。我们将两个变量分别与地区机器人普及度交乘，放入回归方程，使用工具变量方法估计方程（6）。从表 7 第一部分的回归结果可以看到，交乘项系数估计值均在 1% 水平显著为正，表明在低学历就业人员占比高或生产部门人员占比高的地区，机器人普及度提高对城镇职工养老保险收入以及参保人数的负面影响较低。符合本文研究假设 3，也符合劳动极化效应的理论预期。即相对于中等技能劳动者而言，低学历和生产部门人员通常属于低技能劳动者，这部分群体即使被机器人所取代，也能够比较顺利地流动到同一区域侧重人工劳动技能的企业或行业实现再就业，从而在一定程度上缓解了机器人普及度提高对地区养老保险收入的负面影响。因而低技能劳动者占比较高地区，其劳动力重新配置效应越明显，对负面冲击的缓解程度也越大。表 7 第二部分估计结果则显示劳动力重新配置对城乡居民养

老保险收入和参保人数没有显著影响，与此前回归结果是一致的。同时，劳动力重新配置在一定程度上能够减轻机器人普及对城镇离退休职工参保人数负面作用，这可能是机器人替代加速了区域内年龄较大的低技能劳动者退出劳动力市场所致<sup>①</sup>。

表 7 地区机器人普及度、就业结构与地区养老保险

第一部分	城镇职工养老保险收入		城镇职工养老保险参保人数		城镇在职职工养老保险参保人数	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
滞后期地区机器人普及度	-1.341 *** (0.244)	-0.694 *** (0.124)	-1.061 *** (0.162)	-0.628 *** (0.091)	-1.060 *** (0.216)	-0.705 *** (0.120)
滞后期地区机器人普及度 × 低学历就业比重	1.214 *** (0.296)		0.893 *** (0.197)		0.841 *** (0.263)	
滞后期地区机器人普及度 × 生产部门就业比重		0.649 *** (0.181)		0.546 *** (0.140)		0.598 *** (0.183)
样本量	240	240	240	240	240	240
R <sup>2</sup>	0.320	0.321	0.408	0.411	0.452	0.458
第二部分	城乡居民养老保险收入		城镇离退休职工养老保险参保人数		城乡居民养老保险参保人数	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
滞后期地区机器人普及度	-0.523 (0.738)	-0.320 (0.343)	-1.031 *** (0.183)	-0.365 ** (0.157)	0.351 (0.316)	0.018 (0.155)
滞后期地区机器人普及度 × 低学历就业比重	0.504 (0.854)		1.060 *** (0.231)		-0.438 (0.306)	
滞后期地区机器人普及度 × 生产部门就业比重		0.374 (0.523)		0.406 ** (0.179)		-0.076 (0.156)
样本量	240	240	240	240	240	240
R <sup>2</sup>	0.049	0.050	0.230	0.216	0.439	0.435

注：所有回归均包含地区控制变量、地区固定效应和年度固定效应；括号内为稳健标准误；\*、\*\*、\*\*\* 分别表示系数在 10%、5%、1% 水平上显著。

资料来源：根据国际机器人联合会 (IFR)、国泰安数据库、《中国 2010 年人口普查资料》计算得到。

### (五) 异质性检验：劳动力市场摩擦因素

中国最低工资立法可能在保护劳动者权益的同时影响了劳动力的流动，拖延了被

① 这方面的进一步探究需要更详细的微观数据，也与本文研究范围有所偏离，所以我们对此不再做进一步深究。

替代劳动者的再就业搜寻过程。同时，劳动保护程度的上升，也有可能规范了企业的裁员行为，减缓机器人替代劳动者的过程。因而我们将地区最低工资增长率和度量地区劳动保护程度的变量与地区机器人普及度交乘放入回归方程，使用工具变量方法估计方程（7），考察劳动力市场摩擦因素在机器人应用影响地区养老保险中的作用。参照现有文献的做法（廖冠民、陈燕，2014；林灵、曾海舰，2023），我们以王小鲁等（2021）《中国分省份市场化指数报告》中的地区层面市场中介组织的发育和法律制度环境指数（以下简称法律制度环境指数）度量劳动保护程度。这两个交乘项系数的工具变量估计结果见表8。我们发现最低工资变动并没有影响机器人兴起对地区养老保险的负面效应，而法律制度环境指数的提升则在一定程度上抵消了部分负面效应，这说明劳动保护程度上升有助于维护劳动者权益，避免机器人兴起过程中企业替代过程过快过猛，从而维护了社会稳定。

表8 地区机器人普及度、劳动力市场摩擦与地区养老保险

	城镇职工养老保险收入		城镇职工养老保险参保人数		城镇在职职工养老保险参保人数	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
滞后期地区机器人普及度	-0.275 ** (0.105)	-0.370 *** (0.116)	-0.241 *** (0.065)	-0.370 *** (0.065)	-0.283 *** (0.073)	-0.431 *** (0.066)
滞后期地区机器人普及度×滞后期最低工资增长率	0.468 (0.833)		0.479 (0.380)		0.499 (0.433)	
滞后期最低工资增长率	-0.281 (0.200)		-0.230 * (0.126)		-0.220 (0.144)	
滞后期地区机器人普及度×滞后期法律制度环境指数		0.011 * (0.006)		0.012 (0.007)		0.014 * (0.008)
滞后期法律制度环境指数		0.002 (0.003)		-0.001 (0.004)		-0.002 (0.004)
样本量	207	240	207	240	207	240
R <sup>2</sup>	0.175	0.325	0.335	0.408	0.374	0.459

注：所有回归均包含地区控制变量、地区固定效应和年度固定效应；括号内为稳健标准误；\*、\*\*、\*\*\* 分别表示系数在10%、5%、1%水平上显著。

资料来源：根据国际机器人联合会（IFR）、国泰安数据库、《中国2010年人口普查资料》计算得到。

#### （六）稳健性检验

本文所构造的地区机器人普及度指标属于 Bartik 类型变量：以期初地区行业就业人数占比为权数，将每个行业的机器人存量分解到各地区，然后再进行加总。为缓解与行业机器人存量变动所关联的内生性问题，本文使用美国行业机器人存量数据构造工



具变量，但初始地区行业就业份额也可能与难以观测的地区特征相关，存在一定程度内生性。根据 Goldsmith-Pinkham et al. (2020)，设 Bartik 变量  $B_i = \sum_j Z_{ij} g_j$ 。其中， $g_j$  为行业  $j$  的机器人存量（可标准化为期初地区行业就业人数）， $Z_{ij}$  为期初地区  $i$  行业  $j$  就业人数在整个行业中的占比。包含 Bartik 变量  $B_i$  的 OLS 回归系数估计值可以分解为如下形式：

$$\hat{\beta} = \sum_j \hat{\alpha}_j \hat{\beta}_j \quad (8)$$

其中：

$$\hat{\alpha}_j = \frac{g_j Z_j' B^\perp}{\sum_j g_j Z_j' B^\perp}, \quad \hat{\beta}_j = (Z_j' B^\perp)^{-1} (Z_j' Y^\perp) \quad (9)$$

式 (9) 中  $B^\perp$  是剔除了其他控制变量影响之后的 Bartik 变量向量， $Y^\perp$  为剔除其他控制变量影响之后的结果变量向量。从式 (9) 可以看到， $\hat{\beta}_j$  实际上可以通过以  $Y^\perp$  为因变量、以  $Z_j$  为  $B^\perp$  的工具变量回归估计获得。而  $\hat{\alpha}_j$  即为所谓的 Rotemberg 权重 (Rotemberg, 1983)，度量了每一个地区—行业初始占比对 Bartik 变量系数估计值的影响程度。Goldsmith-Pinkham et al. (2020) 建议可以通过排除或控制 Rotemberg 权重最大行业初始占比的影响，以确保 Bartik 变量系数估计结果的稳健性。因此，我们首先计算各行业初始份额的 Rotemberg 权重，然后进行两类检验：一是剔除 Rotemberg 权重最高的汽车行业样本，重新计算地区机器人普及度指标，再进行回归估计；二是在回归估计中控制汽车行业就业人数初始占比（与年度虚拟变量交乘）。

从 Rotemberg 权重的行业分布情况发现，汽车行业对机器人普及度系数估计值的影响最大，其余影响较大的行业均来自制造业，这也符合工业机器人的主要使用范围。排除汽车行业之后重新计算的机器人普及度指标的工具变量回归结果显示，无论因变量为城镇职工还是城乡居民的养老保险收入与参保人数，机器人普及度的系数估计值均与表 5 和表 6 的回归结果一致。而且，对于城镇职工养老保险收入与参保人数，其系数估计值的下降幅度甚至达到了此前回归结果的一倍左右。同时，在回归中加入汽车行业初始占比与年度变量的交乘项，以控制汽车行业初始份额的影响，发现机器人普及度系数估计值的符号和显著性与排除汽车制造业的回归结果以及此前回归结果基本一致。以上两类稳健性检验结果充分说明本文的实证研究结果是稳健的，所得到的研究结论是可靠的<sup>①</sup>。

<sup>①</sup> 由于篇幅限制，此部分省略了 Rotemberg 权重分布和稳健性检验的详细结果。如有需要，可向作者索取。

## 六 结论

机器人兴起对养老保险体系的冲击是一个全新的课题。随着机器人应用场景日益扩大以及人口老龄化的加深，以企业员工工资税为主要来源的养老保险收支体系将会面临严峻的挑战。但从作者检索所及，尚无研究涉及这个课题。本文同时使用上市公司样本和地区样本，首次深入考察了机器人兴起对地区养老保险收入的影响及其微观机理。

本文首先从公司层面考察了机器人兴起对企业养老保险缴费的影响。事件研究发现，当公司发生机器人投资的重大事件之后，公司养老保险缴费支出在未来几期持续较大幅度下跌；实证检验显示，机器人普及度上升导致公司养老保险缴费额显著减少，低学历员工和生产部门员工占比较高公司的养老保险缴费额减少幅度更大。接着，本文利用地区层面数据系统考察地区机器人普及度变动对养老保险收入所产生的经济后果，发现地区机器人普及度上升导致城镇在职职工参保人数显著下降，城镇职工养老保险收入同比例显著减少，表现出明显的替代效应。与此同时，地区城镇职工养老保险支出有一定程度的向下调整，但不能完全抵消收入下降的幅度。这说明如果没有政府干预行为，随着机器人普及度提高，省级统筹的地区养老保险收支可持续性将会不断受到削弱。进一步的研究发现，由于机器人兴起的劳动力重新配置效应，在低学历/生产部门员工占比高的地区，机器人普及度上升导致地区养老保险收入下降的程度相对有所缓解。

本文研究综合地区和公司层面经验证据，比较系统地揭示了机器人兴起对中国养老保险收支体系的冲击效应和传导机制，所得到的结论为理解机器人应用对中国养老保险收支体系的影响及制定相应更具针对性的公共政策提供了学术依据，具有重要的政策参考价值。由于人工智能与数字经济的快速发展，未来机器人应用必然出现在越来越多的社会经济生活领域，这是社会进步的大势所趋，也是经济高质量发展的必然要求。为此，地方政府一方面应该大力推动高科技产业和服务业的高质量发展，通过劳动力的重新配置，适当缓解机器人兴起对区域养老保险收支体系的负面效应；另一方面，应该采取多方面举措加强劳动力的再培训，通过给予资金和其他政策扶持激励企业增加对劳动者在职培训投入，加快推进区域人力资本转型升级，推动劳动力适应更高水平的就业要求，促进区域高质量就业；最后，应该积极探寻发展多层次、多支柱养老保险体系，以缓解机器人兴起对区域养老保险收支体系的冲击，实现智能化发展与养老保险收支体系可持续发展的双赢。

## 参考文献:

- 陈媛媛、张竞、周亚虹 (2022), 《工业机器人与劳动力的空间配置》, 《经济研究》第 1 期, 第 172 - 188 页。
- 程虹、陈文津、李唐 (2018), 《机器人在中国: 现状、未来与影响——来自中国企业—劳动力匹配调查 (CEES) 的经验证据》, 《宏观质量研究》第 3 期, 第 1 - 21 页。
- 邓大松、杨晶、范秋砚、薛惠元 (2019), 《中国城镇职工养老保险基金支出影响因素分析——基于人口结构和制度参数的视角》, 《调研世界》第 7 期, 第 51 - 59 页。
- 邓小莲 (2020), 《我国养老保险可持续发展问题研究》, 《财政科学》第 8 期, 第 18 - 29 页。
- 郭瑜、张寅凯 (2019), 《城镇职工基本养老保险基金收支平衡与财政负担分析——基于社保“双降”与征费体制的改革》, 《社会保障研究》第 5 期, 第 17 - 29 页。
- 金博轶、闫庆悦 (2015), 《养老保险统筹账户收支缺口省际差异研究》, 《保险研究》第 6 期, 第 89 - 99 页。
- 李磊、王小霞、包群 (2021), 《机器人的就业效应: 机制与中国经验》, 《管理世界》第 9 期, 第 104 - 119 页。
- 李琼、周宇、张蓝澜、吴雄周、晁楠 (2018), 《中国城镇职工基本养老保险基金区域差异及影响机理》, 《地理学报》第 12 期, 第 2409 - 2422 页。
- 廖冠民、陈燕 (2014), 《劳动保护、劳动密集度与经营弹性: 基于 2008 年〈劳动合同法〉的实证检验》, 《经济科学》第 2 期, 第 91 - 103 页。
- 林灵、曾海舰 (2023), 《劳动保护、地区经济波动与企业过度投资》, 《广西大学学报 (哲学社会科学版)》第 2 期, 第 131 - 141 页。
- 刘庆玉 (2016), 《〈劳动合同法〉对企业雇佣水平的影响——基于无固定期限劳动合同条款的研究》, 《中国经济问题》第 5 期, 第 73 - 85 页。
- 马双、张劫、朱喜 (2012), 《最低工资对中国就业和工资水平的影响》, 《经济研究》第 5 期, 第 132 - 146 页。
- 裴育、史梦昱 (2019), 《养老保障支出增长与财政可持续——以江苏为例》, 《地方财政研究》第 6 期, 第 4 - 12 页。

- 齐红倩、杨燕 (2020), 《人口老龄化、养老保障水平与我国养老保险基金结余》, 《南京社会科学》第 8 期, 第 11 - 21 页。
- 王国洪、张君、杨翠迎 (2020), 《降低养老保险费率会导致养老金收不抵支吗? ——基于 2001 - 2015 年中国 31 个省级面板数据的分析》, 《商业研究》第 3 期, 第 138 - 144 页。
- 王晓军、米海杰 (2013), 《养老金支付缺口: 口径、方法与测算分析》, 《数量经济技术经济研究》第 10 期, 第 49 - 62 页。
- 王小鲁、胡李鹏、樊纲 (2021), 《中国分省份市场化指数报告 (2021)》, 北京: 社会科学文献出版社。
- 王永钦、董雯 (2020), 《机器人的兴起如何影响中国劳动力市场? ——来自制造业上市公司的证据》, 《经济研究》第 10 期, 第 159 - 175 页。
- 于洪、钟和卿 (2009), 《中国基本养老保险制度可持续运行能力分析——来自三种模拟条件的测算》, 《财经研究》第 9 期, 第 26 - 35 页。
- 于文广、王琦、黄玉娟、崔超然、田立芳 (2017), 《延迟退休与养老金并轨对养老保险基金收支平衡的影响: 以山东省为例》, 《中国软科学》第 7 期, 第 42 - 54 页。
- Acemoglu, Daron & Pascual Restrepo (2018a). Modeling Automation. *AEA Papers and Proceedings*, 108, 48 - 53.
- Acemoglu, Daron & Pascual Restrepo (2018b). The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment. *American Economic Review*, 108 (6), 1488 - 1542.
- Acemoglu, Daron & Pascual Restrepo (2020). Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets. *Journal of Political Economy*, 128 (6), 2188 - 2244.
- Acemoglu, Daron, Claire Lelarge & Pascual Restrepo (2020). Competing with Robots: Firm-Level Evidence from France. *AEA Papers and Proceedings*, 110, 383 - 388.
- Aghion, Philippe, Céline Antonin & Simon Bunel (2019). Artificial Intelligence, Growth and Employment: The Role of Policy. *Economics and Statistics*, 510 - 511 - 512, 149 - 164.
- Akee, Randall, Liqiu Zhao & Zhong Zhao (2019). Unintended Consequences of China's New Labor Contract Law on Unemployment and Welfare Loss of the Workers. *China Economic Review*, 53, 87 - 105.
- Arntz, Melanie, Terry Gregory & Ulrich Zierahn (2016). The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis. *OECD Social, Employment and Migration*

*Working Papers*, No. 189.

Autor, David & David Dorn (2013). The Growth of Low-Skill Service Jobs and the Polarization of the US Labor Market. *American Economic Review*, 103 (5), 1553 – 1597.

Autor, David & Anna Salomons (2018). Is Automation Labor-Displacing? Productivity Growth, Employment, and the Labor Share. *NBER Working Paper*, No. 24871.

Bonfiglioli, Alessandra, Rosario Crino, Harald Fadinger & Gino Gancia (2020). Robot Imports and Firm-Level Outcomes. *CESifo Working Paper*, No. 8741.

Cheng, Hong, Ruixue Jia, Dandan Li & Hongbin Li (2019). The Rise of Robots in China. *Journal of Economic Perspectives*, 33 (2), 71 – 88.

Cooper, Russell & John Haltiwanger (2006). On the Nature of Capital Adjustment Costs. *Review of Economic Studies*, 73 (3), 611 – 633.

Dauth, Wolfgang, Sebastian Findeisen, Jens Suedekum & Nicole Woessner (2021). The Adjustment of Labor Markets to Robots. *Journal of the European Economic Association*, 19 (6), 3104 – 3153.

Dinlersoz, Emin & Zoltan Wolf (2023). Automation, Labor Share, and Productivity: Plant-Level Evidence from U. S. Manufacturing. *Economics of Innovation and New Technology*, 1 – 23.

Dixon, Jay, Bryan Hong & Lynn Wu (2021). The Robot Revolution: Managerial and Employment Consequences for Firms. *Management Science*, 67 (9), 5586 – 5605.

Goldsmith-Pinkham, Paul, Isaac Sorkin & Henry Swift (2020). Bartik Instruments: What, When, Why, and How. *American Economic Review*, 110 (8), 2586 – 2624.

Graetz, Georg & Guy Michaels (2018). Robots at Work. *The Review of Economics and Statistics*, 100 (5), 753 – 768.

Koch, Michael, Ilya Manuylov & Marcel Smolka (2021). Robots and Firms. *The Economic Journal*, 131 (638), 2553 – 2584.

Rotemberg, Julio (1983). Instrumental Variable Estimation of Misspecified Models. *MIT Sloan Working Paper*, No. 1508 – 83.

World Economic Forum (2020). *The Future of Jobs Report 2020*. Geneva: World Economic Forum.



## The Impact of the Rise of Robots on Regional Pension Revenues

Lin Ling<sup>1</sup>, Zeng Haijian<sup>2</sup> & Xiang Qiuhua<sup>1</sup>

(School of Business Administration, Guangxi University of Finance and Economics<sup>1</sup>;  
School of Economics, Guangxi University<sup>2</sup>)

**Abstract:** The paper first uses data from listed companies to examine the impact of the rise of robots on firm pension contributions and explore the micro mechanism of changes in regional pension revenues. Event study evidence shows that when robot penetration in firms significantly increases, firms' pension contributions significantly decrease. Empirical tests show that a one-ventile increase in robot penetration leads to a decrease of about 4 percent in firms' pension contributions, mainly due to the rise of robots leading to a decrease in hiring and wage levels, with low-educated and production-sector employees experiencing a more significant negative impact. Subsequently, this paper empirically tests the impact of the rise of robots on regional pension revenues at the provincial level, finding that a one standard deviation increase in regional robot penetration will result in a decrease of about 10% in urban employee pension revenues, with no significant impact on the urban and rural resident pension revenues. The substitution effect test shows that the rise of robots leads to a proportional decrease in the number of employees insured, indicating an apparent substitution effect; the labor reallocation effect test shows that the reemployment of low-educated and production-sector employees has mitigated the negative impact.

**Keywords:** rise of robots, pension revenue, robot penetration, pension contributions, firm employment

**JEL Classification:** H55, O33, J01

(责任编辑：封永刚)