

## 机器人应用、职业伤害减少与生命健康收益

蔚金霞 高文书\*

---

**内容提要** 工业机器人作为新质生产力的重要实践形式，其广泛应用已成为实现安全生产的关键驱动力。本文基于国际机器人联盟的工业机器人数据和中国经济金融研究数据库中的安全生产事故记录数据，构建了各城市的年度机器人渗透度和安全生产事故及伤亡情况的的面板数据，实证考察了工业机器人应用对劳动者职业伤害和生命损失的影响。研究表明，工业机器人的应用显著减少了安全生产事故的发生及其导致的死亡人数。机制分析发现，工业机器人主要通过改善工作场所、减轻工作强度、增强劳动者权益保障来减少职业伤害。异质性分析显示，在制造业或第二产业从业人员占比更高的地区，以及拥有健全医疗与工伤保障体系的地区，工业机器人的职业伤害减少效应较为明显。此外，本文还基于享乐主义工资模型，估算了机器人应用创造的生命价值收益，为政府政策制定与资源有效配置提供了参考依据。

**关键词** 工业机器人 职业伤害 安全生产 生命价值

---

### 一 引言

从国际层面来看，工作事故、与工作相关的疾病和死亡形势日益严峻，是实现可持续发展的重大挑战。据世界卫生组织和国际劳工组织 2021 年编制的与工作有关的疾病和伤害负担估计，2016 年全球可归因于职业危险的死亡人数约有 188 万人，导致了

---

\* 蔚金霞，中国社会科学院大学经济学院，电子邮箱：yujinxia2021@163.com；高文书，中国社会科学院大学，电子邮箱：gaows@cass.org.cn。作者感谢中国社会科学院国情调研重大项目（批准号：GQZD2021009）、中国社会科学院大学研究生科研创新支持计划项目（批准号：2023-KY-53）的资助。

约 8972 万残疾调整生命年 (DALYs) 损失<sup>①</sup>。其中, 职业伤害引起的死亡人数约占 1/5, 是与工作相关的死亡人数中归因最多的职业危险因素之一 (WHO & ILO, 2021)。从国内来看, 中国劳动者在工作中面临的职业伤害形势也较为严峻。《中国劳动统计年鉴》数据显示, 2022 年全国工伤死亡人数达 28304 人, 较 2012 年增长了约 27%。2023 年各类生产安全事故共死亡 21242 人<sup>②</sup>, 相较于 2022 年有所减少, 安全生产形势有所改善。然而, 新业态所带来的新风险与挑战日益凸显, 推进安全生产任重道远, 形势复杂严峻不容忽视<sup>③</sup>。职业伤害是导致劳动者生命健康损失的直接原因之一, 不仅增加了医疗支出负担, 还带来了劳动力市场损失。因此, 如何减少职业伤害, 已成为保障劳动者权益、促进企业发展、维护社会稳定和谐亟待解决的重要现实问题。

科技在提升安全生产水平、减少职业伤害中发挥着重要作用, 新质生产力的发展可为“科技兴安”提供坚实基础。已有研究表明, 恶劣工作环境、高强度工作任务和不健全的劳动权益保障制度等是造成职业伤害的主要内部风险因素 (梁童心等, 2019)。生产技术的进步将直接影响生产方式, 改变劳动者所处的工作环境、所需付出的工作强度以及能享受到的劳动权益保障水平, 进而减少劳动者面临的职业风险 (余玲铮等, 2021; Arana-Landín et al., 2023; Gihleb et al., 2022)。比如, 随着自动化、智能化技术的发展, 从事高危工作的劳动者被机器替代, 劳动者从危险的工作环境中解脱出来。然而, 新技术、新动力以及新业态的涌现, 可能带来新的安全风险和挑战, 不可避免地催生出更多非典型、多元且复杂的风险源。这些风险源在与自然环境、社会因素相互交织、叠加甚至融合时, 将会极大地增加不确定性, 从而可能引发一系列前所未有、后果严重的新型事故与灾难 (罗云等, 2024)。比如, 在应用新技术时, 可能出现突发设备失灵、劳动者操作不熟练或失误、安全生产管理体系不完善等问题, 导致企业难以有效应对安全事故, 从而增加工伤死亡的风险。

以工业机器人应用为例, 一方面, 工业机器人可代替劳动力搬运负重、进行工作轮换、重复单调工作任务等。原本由人类劳动力完成的高体力、高危险任务被机器取代, 降低了劳动者的工伤风险和从事体力劳动的可能性, 从而改善其职业安全和健康状况 (Gihleb et al., 2022; Gunadi & Ryu, 2021)。另一方面, 机器人的快速发展、更新和应用, 也给劳动者带来了新的职业安全和健康问题。工作人员可能会错误或不耐

① 一个 DALY 是指因疾病、残疾或早逝而丧失的一年生命。

② 参见 [https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202402/content\\_6934935.htm](https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202402/content_6934935.htm)。

③ 参见 [https://www.mem.gov.cn/xw/xwfbh/2024n07y12xwfbh\\_6136/](https://www.mem.gov.cn/xw/xwfbh/2024n07y12xwfbh_6136/)。

练操作机器人，从而在工作现场引入新的危险，并增加现有危险的潜在影响。比如，机器人应用在实际操作中可能产生撞击、挤压、系统故障导致的更复杂的安全隐患，包括电气、水力与气动系统、跌落等引起的次生安全事故。通常在机器人的初始使用阶段、编程与测试过程中，容易出现劳动者操作不熟练、程序调试与优化出现错误等问题，安全事故更容易发生<sup>①</sup>。因此，以工业机器人为代表的新技术应用对职业伤害的总体影响在理论上并不能完全确定，需要丰富的实证研究来评估机器人应用的职业伤害效应。

通常，对新兴技术的安全评估总是落后于技术进步本身。尽管已有许多关于机器人安全事故的新闻报道（Jiang & Gainer, 1987; Layne, 2023），但针对工业机器人对职业伤害影响的经验研究仍比较缺乏。国际上部分研究关注机器人应用对劳动者自评身心健康的影响，多从经济机会、工作安全感、工作任务重新分配等方面解释机器人应用对劳动者身体健康的正向影响和心理健康的负面影响（Abeliansky et al., 2024; Gunadi & Ryu, 2021; O'Brien et al., 2022）。职业伤害是劳动者在生产活动中受到健康影响最为强烈和后果最为严重的一种。有研究案例表明，机器人应用也会带来严重的安全生产事故。然而，较少研究从职业伤害和死亡的角度评估机器人应用的安全生产效果。

从工伤情况来看，Gihleb et al.(2022) 基于美国企业层面的数据研究发现，机器人应用将会减少劳动者与工作相关的职业伤害，减少工伤数量。何小钢等（2024）基于中国省份层面的工伤率数据，发现机器人应用显著减少了职业伤害。从安全生产事故及死亡情况来看，闫雪凌等（2024）基于中国城市层面的数据研究发现，工业机器人应用降低了安全生产事故发生率，减少了伤亡人数。而杨思莹和王冰冰（2023）基于广东省的城市面板数据研究发现，工业机器人应用非但没能有效降低职业伤害，反而提高了城市职业伤害程度，各城市生产安全事故死亡率上升。可见，已有关于机器人应用对劳动者生命损失影响的研究较少，且结论并不一致。

本文以新质生产力的主要实践形式——工业机器人的应用为例，为“科技兴安”提供效果评估。本文基于国际机器人联盟（IFR）提供的工业机器人数据构造机器人渗透度，基于中国经济金融研究数据库（CSMAR）中事件研究数据库提供的安全生产事故资料，得到各城市年度安全生产事故发生数和死亡人数，从而构造城市面板数据考察机器人应用对劳动者职业伤害和生命损失的影响。研究发现，工业机器人的应用显著减少了安全生产事故发生数和死亡人数。基于省份层面的工伤死亡数据分析也得到

<sup>①</sup> 参见 <https://www.osha.gov/otm/section-4-safety-hazards/chapter-4#basic-components>。

了同样的结论。基于中国劳动力动态调查（CLDS）微观数据的机制检验发现，机器人应用主要通过改善劳动者工作场所、降低工作强度和促进劳动权益获得三个途径减少劳动者所面临的职业伤害。异质性分析发现，产业结构越偏向于制造业和第二产业的地区，机器人的生命损失减轻效应越大；医疗保障和工伤保障水平更高的地区，更能够发挥机器人应用的协同效应，降低劳动者的生命损失。此外，本文基于享乐主义工资模型对机器人应用的生命价值收益进行了估算，从货币额度直观衡量了机器人应用带来的生命健康价值收益。

本文从以下几个方面丰富了已有文献。在研究视角上，更加侧重考察机器人应用对死亡伤害和生命损失的影响，丰富了机器人应用的健康后果研究；在职业伤害的影响因素研究领域，补充了新技术应用对职业伤害的影响研究；在改善生产安全的实践层面，从新技术应用对生产安全影响的角度为“科技兴安”战略提供了典型的应用效果评估。在机制分析上，从劳动者工作场所、工作强度和劳动权益保护这三个职业伤害风险因素典型来源出发，较为全面地验证了机器人应用对职业伤害的影响路径，为改善劳动者生命健康权益提供了参考措施。在生命收益评估上，基于享乐主义工资模型估算了劳动者的生命价值，直观展示了机器人应用所带来的生命价值收益，为政策制定提供了重要的成本收益参考依据。

本文余下内容安排如下：第二部分回顾了相关文献，并进行理论分析，提出研究假设；第三部分展示了本文主要使用的数据来源、实证模型和变量设定，以及对内生性的处理；第四部分展示了基准回归结果，并对基准模型进行稳健性检验；第五部分从工作场所、工作强度和权益保障三个方面检验了职业风险因素减少的机制，并展示了机器人应用对劳动者生命健康影响在产业结构、社会保障方面表现出的异质性；第六部分从生命价值和医疗支出两个方面测算了机器人应用的生命健康收益；最后是结论和政策启示。

## 二 文献综述与研究假说

### （一）文献综述

针对机器人应用的经济社会后果，已有研究广泛考察了工业机器人应用对劳动力市场的冲击，主要包括：对就业数量和工资水平的总体影响（王永钦、董雯，2020；Acemoglu & Restrepo，2020；Giuntella & Wang，2019）、对劳动者不同技能的结构影响（王永钦、董雯，2023；Graetz & Michaels，2018）、对劳动者就业质量和工作时长

的影响（陈佳莹等，2022；周广肃等，2021）等。但对就业和工资变化后的衍生后果及其他经济社会影响的研究相对较少，如对劳动者健康的影响。健康意味着个人福祉的增加，也是经济社会长期良好发展的人力基础（Schultz，1961）。已有文献研究发现了一些对健康有显著影响的因素，包括空气污染（王玉泽、罗能生，2020）、居住模式（贾凯冬等，2023）、社会保障（Kuka，2020）等非工作相关因素，以及失业（Colman & Dave，2018）、就业类型（赵建国、周德水，2021）等工作相关因素。但当前文献对生产过程中技术进步如何影响劳动者生命健康的讨论相对较少。

已有机器人应用对劳动者生命健康影响的研究中，健康的评估维度可分为健康感知和生命伤害两大类。健康感知指个体对自身健康状况的主观认识和评价，现有文献主要基于企业或个体层面的数据验证机器人应用对劳动者自评身心健康的影响。Gihleb et al.(2022) 基于美国企业层面的数据研究发现，机器人应用将会减少劳动者的职业伤害，减少工伤发生的概率，但会对劳动者的健康行为和心理健康产生不利影响，提出应关注机器人应用所带来的心理健康后果。Abeliansky et al.(2024) 基于德国的微观个体数据研究发现，机器人使用强度增加会使得劳动者心理健康状况恶化，这主要来自劳动者工作不安全感的增加和对自身经济状况下降的恐惧。Liu et al.(2024) 基于中国个体层面数据研究发现，工业机器人应用对制造业部门劳动者身体健康存在正向影响、对心理健康存在负面影响。闫雪凌等（2024）基于微观个体数据分析显示，机器人应用提升了低端岗位劳动者的身心健康水平，具体地说，工业机器人应用缩短了其工作时长，改善了其对工作环境的满意度。

生命伤害是劳动者从生产活动中受到健康影响最为强烈、后果最为严重的一种，但当前文献主要以定性分析为主。Jiang & Gainer（1987）分析了32起机器人相关的安全事故，结果表明，生产线工人的安全风险最大，其次是维修工人和程序员；伤害的主要类型是夹伤和撞击损伤；大多数伤害是由不良的工作场所设计和人为错误引起的，说明了对劳动者进行安全培训和改善工作场所设计的重要性。Karwowski et al.(1988) 比较了美国肯塔基州一家电器制造商在组装环节利用计算机进行自动化后的安全效果，发现自动化一方面减少了材料处理相关的事故，降低了切割、穿刺等的发生率，减少了接触材料碎片的雇员人数；另一方面，自动化后的人机交互工作环境也带来了新的危险，包括机器的工程因素和人的行为组织因素等，比如机器人设备在编程和测试期间发生故障所引起的事故等。

在研究机器人对劳动者生命健康影响的文献中，基于宏观层面的死亡率或职业伤害数据检验机器人应用对劳动者死亡和职业伤害的实证研究并不多。O'Brien et al.

(2022) 基于美国县级层面的数据研究发现,以机器人为代表的自动化技术应用提升了死亡率,但这主要是因为经济机会下降带来的“绝望死亡”,即逐步恶化的劳动力市场机会使人们的物质和社会环境低于预期,从而产生绝望情绪,导致他们做出严重损害健康的行为,如自杀、吸毒过量、酗酒等。然而,这种死亡率的增加并非由工作活动中的伤害引起的。从工伤的角度, Gunadi & Ryu (2021) 基于美国城市层面的数据研究发现,工业机器人替代了由低技能劳动者完成的高体力、高风险工作任务,推动了低技能个体转向体力劳动强度和危险程度较低的职业,这一工作任务的重新分配改善了低技能人群的健康状况。何小钢等 (2024) 基于中国省份层面的工伤率数据研究发现,机器人使用显著减少了职业伤害。从事故发生和死亡的角度, 闫雪凌等 (2024) 基于中国城市层面的数据研究发现,工业机器人应用降低了安全生产事故发生率,减少了伤亡人数。而杨思莹和王冰冰 (2023) 基于广东省的城市面板数据研究发现,工业智能化非但没能有效降低职业伤害,反而提高了城市职业伤害程度,提出应当重视智能技术应用的潜在安全风险。

总体而言,机器人应用在改善劳动者职业健康的同时,也带来了许多潜在的伤害风险。已有文献在考察机器人应用对职业伤害的影响时,对生命损失的研究相对缺乏,且对职业伤害的研究结论并不一致,还需进一步丰富和完善机器人应用对劳动者生命损失的实证证据和机制分析。此外,在涉及生命损失的测算中,基于生命价值的估算将会提供更加直观的衡量,估算机器人应用的生命健康收益将为机器人应用的生命健康效应研究提供有益补充。

## (二) 研究假说

劳动者在生产工作中面临的职业健康风险因素主要来源于工作场所、工作任务强度和劳动权益保障三个环节。缺乏安全保障的工作环境、高强度的工作任务和不健全的劳动者权益保障体系都会使劳动者面临健康威胁 (梁童心等, 2019)。机器人应用将通过生产率的提升效应和工作任务的替代效应改善劳动者工作场所的环境、减轻工作任务强度和健全劳动权益保障体系,从而避免劳动者的生命健康损害。

一是改善工作场所的环境。劳动者大部分时间都处于工作场所,工作环境中的烟雾、粉尘等危险物质将会增加劳动者患呼吸疾病的风险,危害劳动者健康 (Zhang et al., 2010)。户外工作场所的环境通常会更加恶劣,面临着空气污染、高温、严寒等不利天气条件,这不仅会降低劳动生产率,还会对劳动者身心健康和认知能力产生损害 (易福金等, 2023)。机器人的应用将会提升劳动生产效率,替代高强度、高风险的工作任务,从而间接改善劳动者的工作场所环境。生产率的提升效应体现在,随着工业

机器人的应用，原本需要劳动者在户外执行的生产活动将会向技术密集型任务转变，生产活动向室内特定区域集中，户外工作需求减少。工作任务的替代效应体现在，机器人技术可以避免劳动者与危险环境接触，如研磨材料、进入具有化学或生物风险的工作环境等（Arana-Landín et al., 2023）。因此，机器人应用可改善劳动者的工作场所环境，从而减少其生命健康损害。

二是减轻工作任务的强度。一方面，由于工业机器人的技术优势，部分原来由劳动者执行的高强度、简单重复的工作任务被机器人替代，避免了劳动者因疲劳和注意力分散引起的差错和伤害，减少了劳动者的体力劳动负担，降低了劳动者长时间工作引起的工伤，从而改善劳动者的职业安全与健康。例如，工业外骨骼的使用可以减少搬运重型材料或在高空作业中引起的肌肉骨骼疾病；在钢材的生产和物流中采用自动化，减少了劳动者执行相关工作任务的体力消耗，避免了因举起重物或执行重复任务造成的劳损<sup>①</sup>。另一方面，随着机器人技术的更新及其功能的日益完善，工业机器人在部分工作任务上的表现更加精确、高效和稳定，可以保障产品质量的稳定性和可靠性，大大降低返工率，减少劳动者因此而付出的额外劳动。因此，机器人应用可以减轻劳动者的工作强度，从而降低其生命健康损害。

三是健全劳动权益保障体系。当劳动者与企业签订的劳动合同具备更强的法律约束力时，企业损害劳动者权益的违约成本上升，劳动者维权意识也会提升，劳动者依据该合同能够获得的劳动权益保障力度更强（Gao et al., 2012）。劳动合同中关于员工社会保险、工作强度和非工资性生活福利等劳动保护条款的有效执行，能够提升劳动者的健康水平（程名望、韦昕宇，2024）。人工智能技术是一种任务偏向的技术进步，机器人的应用将会改变企业的雇佣偏好，具备与机器人有效互动能力的劳动者将更可能获得长期稳定的雇佣合同（余玲铮等，2021）。此外，机器人应用的生产率提升效应有助于企业降低生产成本、扩大市场份额、改善盈利状况（Agrawal et al., 2019; Koch et al., 2021; Ing & Zhang, 2022），从而提升其保障劳动者权益的能力。因此，机器人应用可以提高劳动者劳动权益保障水平，从而减轻其生命健康损害。据此，本文提出以下两个假说。

假说1：机器人应用可以减少劳动者面临的生命健康损害。

假说2：机器人应用通过改善劳动者的工作场所环境、降低劳动者的工作强度和增强劳动者的劳动权益保障三个方面减少职业风险，从而降低生命健康损害。

<sup>①</sup> 参见 <https://osha.europa.eu/en/publications/smart-automation-reduce-physically-demanding-work-manufacturing-steel-products-id12>。

### 三 数据和模型

#### (一) 数据来源

本文所使用的主要数据来源有两个。一是国际机器人联盟（IFR）数据库。该数据库提供了 1993–2019 年各个国家/地区分行业的工业机器人存量和增量数据，是目前最权威、最全面的机器人应用水平度量指标，已被广泛用于分析工业机器人对劳动力市场（Acemoglu & Restrepo, 2020; Graetz & Michaels, 2018）和其他经济社会领域（Giuntella et al., 2022）的影响。二是中国经济金融研究数据库（CSMAR）中事件研究数据库提供的 2000 年以来中国安全生产事故事件表，包含了每件安全生产事故发生的日期、地点、事件级别、伤亡人数等信息。由此可计算每个城市各年度安全生产事故发生的事件数和死亡人数。控制变量的数据主要来源于历年《中国城市统计年鉴》。

#### (二) 模型和变量

本文构建了如下计量回归模型，从城市层面考察工业机器人应用对劳动者生命健康的影响。

$$y_{ct} = \alpha + \beta Robot_{ct} + \gamma X_{ct-1} + \delta_c + \theta_t + \varepsilon_{ct} \quad (1)$$

其中， $c$  表示城市， $t$  表示年份； $y_{ct}$  为被解释变量，表示城市  $c$  在  $t$  年的安全生产事故情况； $Robot_{ct}$  为核心解释变量，表示城市  $c$  在  $t$  年的机器人渗透度。核心解释变量的估计系数  $\beta$  反映机器人渗透度每上升一个单位导致的城市年度安全生产事故事件数及死亡人数的变动情况。 $X_{ct-1}$  为城市层面的控制变量，包括人均地区生产总值（元）的对数值、第二产业增加值占国内生产总值（GDP）比重、第三产业增加值占 GDP 比重、职工平均工资（元）对数值、人均医院卫生院床位数（张/万人）、固定资产投资总额（万元）对数值以及在岗职工平均人数（万人）对数值，以减轻或消除城市基本经济状况、产业结构、就业数量、工资水平、卫生服务水平和基础设施水平等对识别工业机器人影响劳动者健康情况的干扰。考虑到工业机器人应用会对当期的地区产业发展和经济水平产生影响，为了避免将机器人应用的结果设置为控制变量，城市层面的控制变量均采用的是前一期的取值。 $\delta_c$  为城市层面的固定效应，用于控制城市间的异质性，规避不随时间变化的城市特征对估计系数的影响。 $\theta_t$  为年份固定效应，用于控制年份异质性，规避不随城市变化的年度趋势对估计系数的影响。 $\varepsilon_{ct}$  为随机误差项。

被解释变量的度量：通过城市年度安全生产事故事件数和死亡人数，反映劳动者的生命健康状况（闫雪凌等，2024）。一定时期内安全生产事故发生的数量越多，所造



成的人员伤亡越严重，则意味着该城市的劳动者在生产过程中面临的生命健康威胁越大。在稳健性分析中，本文使用了省份层面的工伤数据作为被解释变量，以反映劳动者受到的职业伤害程度。在基准回归中采用最小二乘法估计回归系数，考虑到被解释变量安全生产事故事件数和死亡人数是取值为非负整数的计数数据，本文在稳健性分析部分采用了计数模型重新估计回归系数。

核心解释变量的度量：机器人渗透度。本文参考陈佳莹等（2022）、陈媛媛等（2022）和 Acemoglu & Restrepo（2020）的做法，构造巴蒂克（Bartik）变量反映城市年度的机器人渗透度。中国工业机器人的快速增长发生在 2010 年以后，本文考察的时期从 2010 年开始，因此以 2005 年为基期（王林辉等，2023），利用全国 1% 人口抽样调查数据计算各城市在机器人应用增长之前的基础产业就业结构，以规避机器人的采用对就业结构的影响。具体地，将城市层面的产业就业份额乘以机器人与就业人员数量的比值，再在行业层面加总，即可得到城市层面的机器人渗透程度（台/万人）：

$$Robot_{ct} = \sum_s \frac{employ_{sct_0} robot_{st}}{employ_{ct_0} L_{st_0}} \quad (2)$$

其中，下标  $s$  表示行业， $c$  表示城市， $t$  表示年份， $t_0$  为基期 2005 年； $robot_{st}$  表示行业  $s$  在年份  $t$  的工业机器人安装量或存量水平； $L_{st_0}$  表示行业  $s$  在基期的就业人数，来自 2006 年《中国劳动统计年鉴》； $employ_{sct_0}/employ_{ct_0}$  表示城市  $c$  在基期时行业  $s$  的就业份额，同时也反映行业机器人应用水平变化对该地区劳动力市场的影响程度。如果机器人应用水平较高的行业在某一地区占据着更高的就业份额，那么该行业机器人应用对这一地区劳动力市场的冲击就越大。

鉴于 IFR 关于制造业细分行业的划分方式与中国不同，本文参照诸竹君等（2022）的方法，将 IFR 行业分类与国民经济行业分类标准 GB/T 4754 - 2017 进行对应，共划分为 21 个行业，其中含有 15 个制造业细分行业类别<sup>①</sup>。由此，可将中国的行业就业数据与 IFR 的行业机器人数据匹配。2005 年全国 1% 人口抽样调查中的行业分类是根据国民经济行业分类标准 GB/T 4754 - 2002 编码的，根据前两位行业分类代码，将其对应于这 21 类行业中，即可进行地区行业就业份额的计算（陈媛媛等，2022；王林辉等，2023）。各变量的描述性统计结果如表 1 所示。

<sup>①</sup> 因篇幅限制，未展示详细的行业分类对照表。备索。

表 1 描述性统计

指标含义	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
安全生产事故事件数 (件)	2283	2.438	2.622	0	19
安全生产事故死亡人数 (人)	2283	11.633	16.210	0	258
机器人渗透度 (台/万人): 按安装量计算	2283	1.969	2.831	0.060	35.860
机器人渗透度 (台/万人): 按存量计算	2283	7.207	9.344	0.406	111.568
人均地区生产总值 (元) 对数	2283	10.484	0.634	4.595	13.056
第二产业增加值占 GDP 比重 (%)	2283	49.346	10.433	14.950	89.750
第三产业增加值占 GDP 比重 (%)	2283	37.803	9.390	9.760	80.230
职工平均工资 (元) 对数	2283	10.610	0.326	8.509	11.718
人均医院卫生院床位数 (张/万人)	2283	41.533	13.134	0.393	142.430
固定资产投资总额 (万元) 对数	2283	16.012	0.895	12.794	18.966
在岗职工平均人数 (万人) 对数	2283	3.482	0.828	1.386	6.592

资料来源: 根据国际机器人联盟工业机器人数据、中国经济金融研究数据库中事件研究数据库安全生产事故资料和《中国城市统计年鉴》数据计算得到。

中国工业机器人应用的快速增长发生在 2010 年以后, 当前能获得截至 2019 年的机器人数据。因此, 图 1 绘制了 2010 - 2019 年各地区平均机器人渗透度水平、安全生产事故事件数及死亡人数的年度变化趋势图。可以看出, 随着时间的推移, 机器人渗透度存在明显的上升趋势, 而安全生产事故事件数及死亡人数则呈现明显下降的趋势, 这初步说明了机器人应用与劳动者生命健康之间可能存在正向相关关系。另外, 从图 1

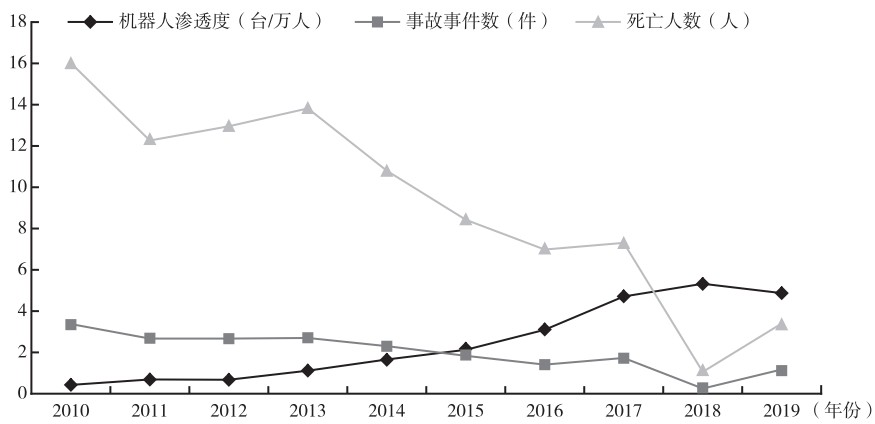


图 1 机器人应用与安全生产事故变化趋势图

注: 机器人渗透度按照安装量计算。

资料来源: 根据国际机器人联盟工业机器人数据、中国经济金融研究数据库中事件研究数据库安全生产事故资料和《中国城市统计年鉴》数据计算得到。

可以看出，2018年的安全生产事故死亡人数出现了明显异常的下降。为了避免异常趋势对机器人应用效应评估的影响，本文将考察期间设置为2010–2017年，并构造各年度城市层面的面板数据进行实证分析。

### （三）内生性及其处理

在宏观层面研究工业机器人应用对劳动者生命健康的影响时，潜在的内生性问题主要来源于两个方面。一是反向因果问题。安全生产事故的发生会导致监管部门加强对涉事企业的监管力度、劳动供给意愿的下降等，可能会导致雇佣成本上升。在机器人价格不断下降的背景下，企业将更可能采用机器人而非人工进行生产（Furman & Seamans, 2019），从而规避安全生产事故所带来的一系列问题。二是遗漏变量问题。尽管本文已经在模型中控制了城市层面的一系列特征、年份和城市层面的固定效应，但依然可能存在无法观测的遗漏变量，比如气候条件的变化、安全生产制度的变化等（何小钢等，2024）。本文采用工具变量法减轻潜在的内生性问题对估计结果的影响。

本文选取了两个工具变量。一是基于美国机器人应用水平构建的机器人渗透度指标。参考Acemoglu & Restrepo（2020）等已有研究的普遍做法，选取其他国家的机器人应用水平构造工具变量。在针对中国工业机器人渗透度的研究中，通常使用美国的机器人应用水平构造工具变量（王林辉等，2023；王永钦、董雯，2020；王永钦、董雯，2023），主要原因有两方面。首先，美国在全球机器人应用领域处于领先地位，其技术进步趋势能够很好地反映特定行业的发展动态。因此，美国的机器人应用水平与中国工业机器人的应用发展具有较高的相似性，满足了工具变量与内生变量之间的相关性要求。其次，美国的机器人应用水平并不会对中国劳动者的生命健康产生直接影响，满足外生性要求。工具变量的具体构造如下：

$$Robot_{ct}^{iv} = \sum_s \frac{employ_{sect_0}}{employ_{ct_0}} \frac{robot_{st}^{us}}{employ_{s_{1990}}^{us}} \quad (3)$$

其中， $employ_{sect_0}/employ_{ct_0}$  仍然是各地区在基期的行业就业份额； $robot_{st}^{us}$  为美国分行业的工业机器人安装量水平； $employ_{s_{1990}}^{us}$  为美国分行业的基期就业水平。美国分行业就业数据来自美国经济研究局和美国人口普查局经济研究中心（NBER-CES），基期为1990年。

另外，本文还选取各城市在近代是否开设通商口岸作为第二个工具变量。自1840年鸦片战争后，中国与其他国家签订了一系列条约，被迫在沿海、沿江、铁路沿线或边界等地区开设通商口岸，成为商品侵入和原料供应的据点。姚加权等（2024）使用

开埠历史作为人工智能技术应用的工具变量。一方面，这些早期开放的商埠在一定程度上为城市发展注入了开放思想和力量。在技术和管理制度传入的影响下，这些商埠逐渐具备了进口并应用先进工业技术的产业基础和贸易优势。因此，在新的技术变革下，更可能成为新技术应用的先行者，即满足工具变量的相关性要求。另一方面，历史通商口岸开放情况距今时间久远，基本不会对当前样本观测期间的劳动者生命健康状况产生直接影响，即满足外生性的要求。各城市近代通商口岸开设数据主要来源于严中平等（2012）整理的 1840 年至 1930 年间各商埠的开设数据，包含商埠开设的时间和地点信息。基于此，本文获得了除港澳台外，共 83 个城市近代开放通商口岸的数据。由于是否开设通商口岸是不随时间变动的变量，本文参考姚加权等（2024）、Nunn & Qian（2014）的处理方式，将是否开设了通商口岸与以美国机器人应用水平构建的机器人渗透度变量的交互项作为工具变量。

## 四 回归结果及分析

### （一）基准回归结果

表 2 展示了使用固定效应模型估计的机器人应用对劳动者生命健康影响的结果。其中，前两列使用的是以安装量计算的机器人渗透度水平为核心解释变量的回归结果，第（1）列回归使用的被解释变量为安全生产事故发生的事件数，第（2）列使用的是安全生产事故导致的死亡人数。可以看出，核心解释变量的估计系数均显著为负，表明机器人应用水平的提升显著降低了安全生产事故发生的数量和伤亡程度。具体而言，以安装量计算的机器人渗透度水平每提升一个标准差（2.831 台/万人），安全生产事故事件数相对于均值水平将下降 17.53%（ $2.831 \times 0.151/2.438$ ），安全生产事故死亡人数相对于均值水平将下降 13.51%（ $2.831 \times 0.555/11.633$ ）。总体而言，机器人的应用显著降低了劳动者面临的生产风险，对其生命健康起着正向效应。

进一步，本文使用工具变量重新估计回归模型，估计结果如表 2 第（3）列和第（4）列所示。Cragg-Donald Wald F 统计量的值都明显大于临界值，表明工具变量满足相关性假设。Hansen J 统计量均不显著，表明工具变量满足外生性假设。考虑内生性问题后，核心解释变量机器人渗透度的估计系数依然显著为负，表明机器人应用降低生产安全事故发生的结论稳健。

表 2 机器人应用影响劳动者生命健康的基准回归结果

	固定效应估计		固定效应工具变量估计	
	事故事件数	死亡人数	事故事件数	死亡人数
	(1)	(2)	(3)	(4)
机器人渗透度	-0.151 *** (0.038)	-0.555 *** (0.204)	-0.396 ** (0.193)	-2.329 ** (1.044)
人均地区生产总值对数	0.795 ** (0.389)	4.321 * (2.519)	0.814 ** (0.362)	4.461 ** (2.227)
第二产业增加值占 GDP 比重	-0.005 (0.042)	0.277 (0.266)	-0.055 (0.053)	-0.082 (0.344)
第三产业增加值占 GDP 比重	0.044 (0.052)	0.625 * (0.323)	-0.009 (0.064)	0.241 (0.392)
职工平均工资对数	-0.698 (0.459)	-3.326 (2.916)	-0.851 (0.520)	-4.435 (3.442)
人均医院卫生院床位数	-0.040 *** (0.012)	-0.142 * (0.078)	-0.049 *** (0.016)	-0.207 ** (0.090)
固定资产投资总额对数	-0.493 ** (0.242)	-2.385 * (1.299)	-0.641 ** (0.272)	-3.456 ** (1.399)
在岗职工平均人数对数	1.165 *** (0.423)	7.086 *** (2.492)	2.035 ** (0.864)	13.390 *** (4.827)
年份固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
Cragg-Donald Wald F 统计量			103.847 ***	103.847 ***
Hansen J 统计量			0.821	1.291
观测值	2283	2283	2283	2283
R <sup>2</sup>	0.509	0.314		

注：括号内为聚类在城市层面的稳健标准误；\*\*\* 表示  $p < 0.01$ ，\*\* 表示  $p < 0.05$ ，\* 表示  $p < 0.1$ 。

资料来源：根据国际机器人联盟工业机器人数据、中国经济金融研究数据库中事件研究数据库安全生产事故资料和《中国城市统计年鉴》数据计算得到。

## (二) 稳健性检验

### 1. 使用计数模型估计

基准回归中使用的被解释变量安全生产事故事件数和死亡人数均是取值为非负整数的计数数据，本部分进一步使用计数模型重新考察机器人应用对职业伤害的影响。

泊松回归和负二项回归是计数模型中常用的回归模型，泊松回归适用于被解释变量期望和方差相等的均等分散情形。由描述性统计结果可知，本文的被解释变量安全生产事故事件数和死亡人数方差明显大于期望，存在过度分散的特征，因此采用适用于过度分散情形的负二项回归进行分析，估计结果如表 3 所示。过度分散参数显著不为 0，即应当使用负二项回归进行估计。其中，第（1）列展示了对事故事件数进行负二项回归的估计结果，核心解释变量显著为负，表明机器人渗透度的提升将会显著减少事故事件数。由第（2）列发生率比 IRR 可知，机器人渗透度提升 1 台/万人，安全生产事故事件平均发生的次数将是原来的 0.949 倍，即将会下降约 5%。第（3）列展示了对死亡人数进行负二项回归的估计结果，核心解释变量显著为负，表明机器人渗透度的提升将会显著减少事故死亡人数。由第（4）列发生率比 IRR 可知，机器人渗透度提升 1 台/万人，安全生产事故事件平均死亡人数将是原来的 0.957 倍，即将会下降约 4%。

表 3 机器人应用影响劳动者生命健康的计数模型估计结果

	事故事件数		死亡人数	
	估计系数	发生率比	估计系数	发生率比
	(1)	(2)	(3)	(4)
机器人渗透度	-0.053 *** (0.013)	0.949 *** (0.012)	-0.044 ** (0.018)	0.957 *** (0.018)
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
过度分散参数	0.075 *** (0.019)	0.075 *** (0.019)	0.980 *** (0.063)	0.980 *** (0.063)
观测值	2283	2283	2283	2283
伪 R <sup>2</sup>	0.164	0.164	0.062	0.062

注：各列回归中使用的控制变量同表 2；括号内为聚类在城市层面的稳健标准误；\*\*\* 表示  $p < 0.01$ ，\*\* 表示  $p < 0.05$ ，\* 表示  $p < 0.1$ 。

资料来源：根据国际机器人联盟工业机器人数据、中国经济金融研究数据库中事件研究数据库安全生产事故资料和《中国城市统计年鉴》数据计算得到。

## 2. 以存量水平计算机器人渗透度

本部分通过变更核心解释变量机器人渗透度的衡量指标进行稳健性检验。IFR 提供了各个国家/地区年度的机器人安装量和存量数据，基准回归中使用安装量衡量机

机器人渗透度，反映当年新增机器人应用对劳动者生命健康的流量影响。采用以存量衡量的机器人渗透度重新估计模型，可以反映累积机器人应用对劳动者生命健康的持续影响。结果如表4所示，前两列为固定效应估计，后两列为考虑内生性的工具变量估计，核心解释变量的估计系数均显著为负。以存量计算的机器人渗透度水平每提升一个标准差（9.344台/万人），安全生产事故事件数相对于均值水平将会下降19.55%（ $9.344 \times 0.051 / 2.438$ ），安全生产事故死亡人数相对于均值水平将会下降16.47%（ $9.344 \times 0.205 / 11.633$ ），表明机器人应用对劳动者生命健康的累积效应也稳健存在。

表4 机器人应用影响劳动者生命健康的存量指标结果

	固定效应估计		固定效应工具变量估计	
	事故事件数	死亡人数	事故事件数	死亡人数
	(1)	(2)	(3)	(4)
机器人渗透度（存量）	-0.051*** (0.014)	-0.205*** (0.074)	-0.107** (0.048)	-0.637** (0.262)
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
Cragg-Donald Wald F 统计量			149.962***	149.962***
Hansen J 统计量			0.205	0.528
观测值	2283	2283	2283	2283
R <sup>2</sup>	0.510	0.315		

注：各列回归中使用的控制变量同表2；括号内为聚类在城市层面的稳健标准误；\*\*\*表示  $p < 0.01$ ，\*\*表示  $p < 0.05$ ，\*表示  $p < 0.1$ 。

资料来源：根据国际机器人联盟工业机器人数据、中国经济金融研究数据库中事件研究数据库安全生产事故资料和《中国城市统计年鉴》数据计算得到。

### 3. 使用省级工伤认定数据

工伤数据可直接体现劳动者的职业伤害情况。本文从历年《中国劳动统计年鉴》中整理出各省份年度认定工伤人数和因工死亡人数，以每万人就业人员工伤人数和因工死亡人数作为被解释变量，衡量劳动者面临的工伤和因工死亡风险。核心解释变量的衡量思路与构建城市层面机器人渗透度的思路相同，将地区层级调整为省份层面，分别按照安装量和存量计算省份层面的机器人渗透度水平。同时，将各控制变量的层级也更换为省份层面，控制变量含义仍与式（1）保持一致。样本考察时期设置为

2010 – 2019 年。构造面板数据进行固定效应估计的结果如表 5 所示，核心解释变量的估计系数都在 1% 的显著性水平显著为负，表明机器人应用显著降低了就业人员工伤数和因工死亡数，有助于降低劳动者面临的职业伤害风险。

表 5 机器人应用影响劳动者生命健康的省级工伤数据估计结果

	每万人就业人员 工伤人数	每万人就业人员 因工死亡人数	每万人就业人员 工伤人数	每万人就业人员 因工死亡人数
	(1)	(2)	(3)	(4)
省级机器人渗透度（按安装 量计算）	-3.338 *** (1.173)	-0.036 *** (0.012)		
省级机器人渗透度（按存量 计算）			-0.652 *** (0.222)	-0.008 *** (0.002)
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是
观测值	310	310	310	310
R <sup>2</sup>	0.917	0.852	0.915	0.853

注：各列回归中使用的控制变量同表 2；核心解释变量为省份年度机器人渗透度；括号内为聚类在省份层面的稳健标准误；\*\*\* 表示  $p < 0.01$ ，\*\* 表示  $p < 0.05$ ，\* 表示  $p < 0.1$ 。

资料来源：根据国际机器人联盟工业机器人数据、《中国劳动统计年鉴》数据和《中国统计年鉴》数据计算得到。

## 五 机制分析和异质性分析

### （一）微观机制：职业风险因素减少

工作强度和物理工作环境是影响劳动者生命健康的主要因素（梁童心等，2019）。机器人可以替代人类从事部分繁重的工作任务，将劳动者从危险的工作环境中解放出来。本部分基于中国劳动力动态调查（CLDS）数据检验机器人应用影响劳动者生命健康的微观机制。CLDS 是由中山大学社会科学调查中心组织执行的动态追踪调查，调查较为详细地询问了劳动者的工作强度和工作场所等信息。本文选取目前已公开 2012 年、2014 年和 2016 年的调查数据，保留 16 ~ 64 岁样本。本文考察微观机制的实证模型设定如下：

$$y_{ict} = \alpha + \beta Robot_{ct} + \varphi Z_{ict} + \gamma X_{ct-1} + \delta_i + \theta_t + \varepsilon_{ict} \quad (4)$$



其中， $Robot_{ict}$ 为核心解释变量机器人渗透度； $X_{ict-1}$ 为一系列城市层面的控制变量，设定同式（1）； $Z_{ict}$ 为个体层面的控制变量，包含年龄、年龄平方项、婚姻状况、户口类型及受教育程度； $\delta_i$ 和 $\theta_t$ 分别表示个体和年份固定效应； $\varepsilon_{ict}$ 为随机扰动项。

被解释变量 $y_{ict}$ 为个体工作特征，本文通过工作场所和工作强度反映劳动者面临的职业风险因素。一是工作场所。户外工作场所面临突发天气、高温等恶劣工作环境，容易造成人体损伤。本部分通过工作场所是否在户外反映劳动者的工作条件，回答“是”取值为1、“否”取值为0。二是工作强度，CLDS问卷询问了劳动者在工作过程中是否需要繁重的体力劳动，本文对回答“从不”“很少”“有时”“经常”分别赋值为1~4。对工作场所和工作强度进行固定效应回归和工具变量估计的结果如表6第（1）列至第（4）列。可以看出，机器人应用显著降低了劳动者户外工作的概率和进行繁重体力劳动的频率，即机器人应用可减少劳动者面临的职业风险，改善其生命健康结果。

表6 机器人应用影响劳动者生命健康的微观机制

	户外工作场所		繁重的体力劳动		长期合同	
	固定效应估计	工具变量估计	固定效应估计	工具变量估计	固定效应估计	工具变量估计
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
机器人渗透度	-0.007 ** (0.003)	-0.019 *** (0.006)	-0.035 *** (0.012)	-0.074 ** (0.031)	0.009 ** (0.004)	0.021 *** (0.008)
控制变量	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是	是
Cragg-Donald Wald F 统计量		2380.149 ***		561.542 ***		481.427 ***
Hansen J 统计量		0.159		1.462		0.730
观测值	15998	15998	5222	5222	4469	4469
R <sup>2</sup>	0.806	0.003	0.713	0.006	0.561	0.012

注：括号内为聚类在个体层面的稳健标准误；\*\*\*表示  $p < 0.01$ ，\*\*表示  $p < 0.05$ ，\*表示  $p < 0.1$ 。

资料来源：根据国际机器人联盟工业机器人数据、中国劳动力动态调查2012-2016年数据和《中国城市统计年鉴》数据计算得到。

从工作稳定性和劳动者获得的权益保障水平来看，机器人的应用使企业更加偏向具有人机互动技能的劳动者。出于提升技术熟练度、提高合作效率、降低人力资源成

本等方面的考虑,企业更可能与劳动者签订长期合同(余玲铮等,2021)。签订长期合同将提升劳动者的工作稳定性,保障劳动者的工作权益,促进企业为员工提供更好的健康管理与支持服务,有助于减轻劳动者的风险承担压力,改善劳动者的生命健康。CLDS 问卷中设置了两个问题询问劳动合同签订情况:一是受访者目前是否签订了劳动合同?二是签订的是哪种类型的劳动合同?劳动合同类型包含“固定时段或短期合同”“永久合同”两个选项。本文分析中,当受访者选择“永久合同”时,“长期合同”变量赋值为 1;当受访者选择“固定时段或短期合同”或第一个问题选择“没有签订合同”时,“长期合同”变量赋值为 0。对劳动者签订的合同类型是否是长期合同进行回归的结果如表 6 第(5)列和第(6)列所示。可以看出,机器人应用显著提升了劳动者签订长期合同的概率,这将为其生命健康权益提供更好的保障。

## (二) 产业结构异质性

机器人应用对劳动者生命健康的改善效应在不同产业间可能存在异质性。可自动控制、可重复编程、可完成多目标任务的工业机器人<sup>①</sup>被广泛地应用于工业自动化领域,可替代人类完成危险、枯燥、恶劣的工作任务,使人类从高危高压的工作中脱离出来,减少劳动者与危险环境的接触,使劳动者的工作环境更加安全(Christensen et al., 2021)。而此类高危工作任务主要集中在采矿业、制造业和建筑业等第二产业部门<sup>②</sup>。因此,第二产业从业人员占比较高的地区更可能在机器人的应用中显著改善劳动者的生命健康状况。本文按照城市前一期第二产业从业人员占年末单位从业人员数的比例均值,将各城市划分为第二产业从业人员占比较高和较低的地区进行分组回归,结果如表 7 中 Panel A 所示。可以看出,在第二产业从业人员比例较高地区组,机器人应用显著降低了安全生产事故事件数和死亡人数,而在第二产业从业人员比例较低地区组,对应回归系数均不显著。进一步,工业机器人主要应用于制造业领域,制造业从业人员占比更高的地区将会获得更大的健康收益。按照城市前一期制造业从业人员占年末单位从业人员数的比例均值划分为高低两组,并重新进行分组回归。表 7 中 Panel B 的回归结果表明,在制造业从业人员比例较高地区,机器人应用的生命健康改善效应显著,而在制造业从业人员比例较低地区这一效应并不明显。

① 参见 <https://ifr.org/industrial-robots>。

② 根据《安全生产责任保险实施办法》(安监总办〔2017〕140号)第六条规定,煤矿、非煤矿山、危险化学品、烟花爆竹、交通运输、建筑施工、民用爆炸物品、金属冶炼、渔业生产等属于国家规定的高危行业、领域。

表 7 机器人应用影响劳动者生命健康的产业结构异质性

	事故事件数		死亡人数	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Panel A	第二产业从业人员 比例较高地区	第二产业从业人员 比例较低地区	第二产业从业人员 比例较高地区	第二产业从业人员 比例较低地区
机器人渗透度	-0.144 *** (0.041)	-0.161 (0.135)	-0.554 ** (0.250)	-0.185 (0.555)
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
观测值	1170	1089	1170	1089
R <sup>2</sup>	0.502	0.575	0.309	0.406
Panel B	制造业从业人员 比例较高地区	制造业从业人员 比例较低地区	制造业从业人员 比例较高地区	制造业从业人员 比例较低地区
机器人渗透度	-0.178 *** (0.042)	-0.135 (0.134)	-0.739 *** (0.227)	-0.187 (0.514)
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
观测值	983	1277	983	1277
R <sup>2</sup>	0.563	0.537	0.286	0.405

注：各列回归中使用的控制变量同表 2；括号内为聚类在城市层面的稳健标准误；\*\*\* 表示  $p < 0.01$ ，\*\* 表示  $p < 0.05$ ，\* 表示  $p < 0.1$ 。

资料来源：根据国际机器人联盟工业机器人数据、中国经济金融研究数据库中事件研究数据库安全生产事故资料和《中国城市统计年鉴》数据计算得到。

### （三）社会保障的协同作用

本文进一步展示了机器人应用水平与地区医疗、工伤保障水平的协同作用。首先，利用每万人医疗机构床位数反映地区医疗供给水平，并以前一期每万人医疗机构床位数的中位数为阈值，将全部省份划分为医疗供给水平较高地区和医疗供给水平较低地区。根据省级机器人渗透度对每万人就业人员工伤人数和因工死亡人数分别进行分组回归。表 8 中 Panel A 显示，机器人应用对职业伤害的减轻效应在医疗供给水平较高的地区显著，而在医疗供给水平较低的地区不显著。劳动者获得医疗服务的充足性和便捷性能够保障其拥有更好的健康水平，也能够为遭受职业伤害的劳动者及时提供医疗救助，使其更快恢复健康状态。

其次，从工伤保险的保障来看，以省级前一期工伤保险年末参保人数占城镇单位就业人员比重的均值为阈值，将全部省份划分为工伤保险参保率较高地区和工伤保险

参保率较低地区。从表 8 中 Panel B 的分组回归结果可以看出，工伤保险参保率较高地区的劳动者获得的职业安全改善效应显著，而在工伤保险参保率较低地区中则不显著。进一步，从工伤保险待遇水平来看，以省级前一期工伤保险基金支出占地区生产总值比例的均值为阈值，将全部省份划分为工伤保险待遇较高地区和工伤保险待遇较低地区，并进行分组回归。表 8 中 Panel C 的回归结果显示，工伤保险待遇享受水平更高地区的劳动者获得的职业安全改善效应更大。工伤保险参保率较高或工伤保险待遇水平更高意味着当地职工具有更高的职业安全意识，企业承担了更高的职业伤害成本，这都可能促使劳动者获得更好的职业安全保障。

表 8 机器人应用影响劳动者生命健康的保障水平异质性

	每万人就业人员 工伤人数		每万人就业人员 因工死亡人数	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Panel A	医疗供给水平 较高地区	医疗供给水平 较低地区	医疗供给水平 较高地区	医疗供给水平 较低地区
省级机器人渗透度	-0.483 *** (0.137)	-0.013 (0.349)	-0.008 *** (0.002)	0.002 (0.004)
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是
观测值	153	154	153	154
R <sup>2</sup>	0.962	0.959	0.933	0.907
Panel B	工伤保险参保率 较高地区	工伤保险参保率 较低地区	工伤保险参保率 较高地区	工伤保险参保率 较低地区
省级机器人渗透度	-0.589 ** (0.215)	-0.654 (1.280)	-0.005 ** (0.002)	0.012 (0.015)
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是
观测值	129	176	129	176
R <sup>2</sup>	0.939	0.926	0.911	0.862
Panel C	工伤保险待遇 较高地区	工伤保险待遇 较低地区	工伤保险待遇 较高地区	工伤保险待遇 较低地区
省级机器人渗透度	-0.379 ** (0.162)	-0.136 (0.323)	-0.005 *** (0.001)	-0.010 (0.007)
控制变量	是	是	是	是

续表

	每万人就业人员 工伤人数		每万人就业人员 因工死亡人数	
	(1)	(2)	(3)	(4)
年份固定效应	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是
观测值	135	173	135	173
R <sup>2</sup>	0.952	0.956	0.902	0.864

注：各列回归中使用的控制变量同表2；核心解释变量为按照存量水平计算的省份年度机器人渗透度；括号内为聚类在省份层面的稳健标准误；\*\*\*表示  $p < 0.01$ ，\*\*表示  $p < 0.05$ ，\*表示  $p < 0.1$ 。

资料来源：根据国际机器人联盟工业机器人数据、《中国劳动统计年鉴》数据和《中国统计年鉴》数据计算得到。

以上结果说明了社会保障供给在维护劳动者生命健康权益中发挥的重要作用。应努力增加医疗服务供给，扩大工伤保险覆盖人群，提升工伤保险待遇水平，以有效改善劳动者的职业安全和生命健康权益。

## 六 机器人应用的生命健康收益

### （一）生命价值

上述分析展示了机器人应用对劳动者生命健康的积极影响，本部分将对机器人应用带来的生命价值收益做出进一步的测算。这一方面可以补充生命价值测算的研究，另一方面可以直观地衡量机器人应用带来的生命收益。经济学通过测算理性人生命的货币价值对生命损失的成本进行量化，测算方法包括以下三种。一是人力资本价值法。人力资本价值模型认为人的生命价值为一生预期收入的现值总和。即：

$$VSL = \sum_{t=1}^T \frac{L_t}{(1+\rho)^t} \quad (5)$$

其中， $T$ 为生命期限， $L_t$ 为预期收入， $\rho$ 为贴现率。人力资本价值模型测算的生命价值仅包含了生命的收入创造价值，未将生命的其他非财富性价值考虑在内，也暗含着收入水平越高的人生命价值越高。从测算的稳定性和便捷性来看，结果也易受到预期寿命的变化、预期收入和贴现率不确定性等因素的影响。因此，人力资本价值方法并未得到广泛应用。

二是支付意愿法。该方法通过问卷调查询问个体为了规避死亡风险愿意支付的最

大货币金额。基于微观经济学的期望效用理论，追求期望效用最大化的劳动者的生命价值为其愿意支付以减少单位死亡风险的金额，也即为死亡风险和支付意愿的边际替代率，可表示为：

$$VSL = \frac{dWTP}{dp} \quad (6)$$

其中， $WTP$  为个体规避死亡风险的支付意愿金额， $p$  为死亡风险概率。支付意愿法直接体现了个体对死亡风险的价值评定，相比人力资本价值法只考虑收入的做法更加全面。但由于个体回答的主观性较强，难以保证想象中的死亡风险与真实死亡风险一致，且在实施过程中面临着抽样调查的成本和规模限制，因此也未得到普遍应用。

三是享乐主义工资模型。享乐主义工资模型的理论基础是亚当·斯密的补偿性工资差异理论和 Rosen (1974) 的享乐主义价格模型。该理论认为在劳动力市场完全竞争的前提下，劳动力自由流动将会使不同职业或行业的劳动力供需保持动态平衡，不同职业或行业的均衡工资差异来自工资补偿机制。由于不同工作的工作条件、工作环境和强度不同，所面临的职业伤害和伤亡风险也存在差异，不同行业或职业工资差异反映了对伤亡风险的补偿，工作潜在伤亡风险更高的劳动者将会获得更多的补偿性工资 (Smith, 1976)。因此，可通过比较工资水平和伤亡风险的差异，得出劳动力市场对伤亡风险的支付意愿，间接体现生命的统计学价值。假设  $w$  为工资率， $p$  为伤亡风险，劳动者健康状态下的效用为  $U(w)$ ，伤亡风险发生状态下的效用为  $V(w)$ ，则劳动者的期望效用可表示为  $E(U) = (1-p)U(w) + pV(w)$ ，生命的统计学价值可表示为，

$$VSL = \frac{dw}{dp} = \frac{\frac{dE(U)}{dp}}{\frac{dE(U)}{dw}} = \frac{V(w) - U(w)}{(1-p)U'(w) + pV'(w)} \quad (7)$$

享乐主义工资模型基于劳动力市场均衡，从工资率和伤亡风险的关系视角衡量生命的统计学价值，更加客观、直接、准确地为生命价值提供经济学解释。在实际应用中，该模型也更容易操作和实现，已成为生命价值测度的主流估计方法。本文参考已有研究的普遍做法，采用如下回归模型估计享乐主义工资理论下的工资率和死亡风险的关系 (秦雪征等, 2010; 行伟波等, 2021; Viscusi & Aldy, 2003)。

$$\ln(w_{ict}) = \alpha + \beta p_{ct} + \varphi Z_{ict} + \delta_c + \theta_t + \varepsilon_{ict} \quad (8)$$

其中， $i$  表示劳动者， $c$  表示城市， $t$  表示年份； $w_{ict}$  代表劳动者的小时工资率； $p_{ct}$  代表城市的安全生产事故死亡率； $Z_{ict}$  代表劳动者个人及工作环境的一系列控制变量，包括年龄、年龄平方、性别、受教育年限、婚姻状况、自评健康、户口类型、就业行

业； $\delta_c$  为城市固定效应， $\theta_t$  为年份固定效应， $\varepsilon_{ict}$  为随机干扰项。估计系数  $\beta$  反映安全生产死亡风险变动对工资率的影响。

参考 Aldy & Viscusi (2004) 的估算方法， $VSL = \text{死亡风险回归系数} \beta \times \text{小时工资} \times \text{每年工作小时数} \times \text{死亡风险单位}$ ，即可得到生命价值的估计量。本文估算生命价值使用的微观数据同表 6，为 2012–2016 年中国劳动力动态调查数据，分析过程中保留 16~64 岁样本，并删除年收入缺失或为零的样本。小时工资率（元/小时）的计算方式为：年收入（元）除以年工作月数，再除以 4 倍的周工作时长（小时/周）。为了避免异常值的影响，本文对小时工资进行双侧各 1% 截尾后再取对数。小时工资平均水平为 18.601 元/小时。安全生产事故死亡率使用每万名从业人员安全生产事故死亡人数衡量，死亡风险单位为 10000。安全生产事故死亡率平均水平为 0.281‰。

享乐主义工资模型回归结果详见表 9。表 9 第 (1) 列为仅加入安全生产事故死亡率时的死亡风险回归系数，第 (2) 列进一步引入了一系列个体特征，第 (3) 列还控制了行业固定效应和健康水平。由于回归中仅选取了有收入的个体，可能存在样本选择问题。为此，本文采用赫克曼 (Heckman) 两步法对样本选择偏误进行修正。首先，本文选取家庭是否有 16 岁以下孩子和 65 岁以上老人作为排他性变量，并对是否有工作进行估计；然后，将第一步回归计算得到的逆米尔斯比率 (IMR) 作为控制变量引入原回归方程中。估计结果如第 (4) 列和第 (5) 列所示，修正样本选择偏误后的估计结果依然稳健。与理论预期一致，死亡率和工资水平呈现正相关关系。死亡风险回归系数在 1% 的显著水平下显著为正，大小约为 0.070。代入生命价值的计算公式，可得个体的生命统计学价值为 2663.568 万元人民币。

表 9 享乐主义工资模型回归结果

	小时工资对数	小时工资对数	小时工资对数	是否有工作	小时工资对数
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
安全生产事故死亡率	0.079 *** (0.020)	0.072 *** (0.020)	0.070 *** (0.019)	-0.026 * (0.015)	0.065 *** (0.014)
年龄		0.052 *** (0.005)	0.050 *** (0.005)	0.222 *** (0.004)	0.095 *** (0.013)
年龄平方		-0.071 *** (0.006)	-0.065 *** (0.006)	-0.261 *** (0.004)	-0.119 *** (0.016)
婚姻状况		0.186 *** (0.021)	0.183 *** (0.021)	0.161 *** (0.021)	0.207 *** (0.022)

续表

	小时工资对数	小时工资对数	小时工资对数	是否有工作	小时工资对数
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
户口类型		0.145 *** (0.032)	0.104 *** (0.029)	-0.319 *** (0.019)	0.084 *** (0.025)
初中		0.194 *** (0.025)	0.162 *** (0.022)	-0.012 (0.016)	0.175 *** (0.015)
高中		0.337 *** (0.033)	0.285 *** (0.028)	0.083 *** (0.021)	0.329 *** (0.019)
大学及以上		0.730 *** (0.038)	0.615 *** (0.039)	0.484 *** (0.026)	0.791 *** (0.035)
性别		0.364 *** (0.018)	0.316 *** (0.018)	0.612 *** (0.013)	0.457 *** (0.034)
健康			-0.044 * * (0.021)	-0.023 (0.017)	-0.048 *** (0.015)
一般			-0.142 *** (0.022)	-0.099 *** (0.019)	-0.166 *** (0.018)
比较不健康			-0.294 *** (0.030)	-0.340 *** (0.025)	-0.374 *** (0.030)
非常不健康			-0.400 *** (0.071)	-0.958 *** (0.050)	-0.622 *** (0.087)
家庭是否有 16 岁以下孩子				0.029 (0.042)	
家庭是否有 65 岁以上老人				0.173 *** (0.040)	
行业固定效应	否	否	是	否	否
城市固定效应	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
观测值	29895	28834	28040	49781	28825
R <sup>2</sup>	0.200	0.291	0.310		
IMR					0.343 *** (0.104)

注：括号内为聚类在城市层面的稳健标准误；\*\*\* 表示  $p < 0.01$ ，\*\* 表示  $p < 0.05$ ，\* 表示  $p < 0.1$ 。

资料来源：根据中国劳动力动态调查 2012 - 2016 年数据、中国经济金融研究数据库中事件研究数据库安全生产事故资料和《中国城市统计年鉴》数据计算得到。



表 10 展示了各项估值。秦雪征等 (2010) 基于 2005 年全国 1% 人口抽样调查数据得到的小时工资平均水平为 4.051 元/小时, 基于《中国安全生产年鉴 (2006)》计算的各行业因工死亡率平均水平为 0.66‰, 由此估算的生命价值为 181 万元人民币。与该研究相比, 本文计算的死亡率仅为其死亡率的 42.58%, 小时工资水平为其小时工资数的 4.592 倍, 按照生命价值计算公式得到的生命价值应当是其结果的 10 余倍, 与本文的估算结果相符。本文估算生命价值时选择的样本时期与秦雪征等 (2010) 相差约十年, 小时工资水平的增加和死亡率的下降是自然存在的趋势, 且本文关注的是安全生产事故死亡率水平下的生命价值估算, 安全生产事故死亡率与总的工伤死亡率相比也更低。基于此, 本文计算得到的生命价值更高是合理的。

表 10 生命价值估算结果

变量	估值
安全生产事故死亡率 (1/10000)	0.281
小时工资 (元/小时)	18.601
死亡风险回归系数	0.070
年工作小时数	2034.379
人口的生命统计学价值 <i>VSL</i>	26635679
单位机器人渗透度减少的安全生产事故死亡人数	0.555
单位机器人渗透度的生命价值	14782802

资料来源: 根据国际机器人联盟工业机器人数据、中国劳动力动态调查 2012 - 2016 年数据、中国经济金融研究数据库中事件研究数据库安全生产事故资料和《中国城市统计年鉴》数据计算得到。

进一步, 结合表 2 基准回归得到的机器人渗透对安全生产事故死亡人数的影响系数, 可知机器人渗透度每提升 1 台/万人, 安全生产事故死亡人数将减少 0.555 人。乘以 *VSL* 可得, 单位机器人渗透度提升将获得的生命价值收益为 1478.280 万元人民币。

## (二) 医疗支出

生命健康损耗带来的公共医疗支出也是健康社会成本的体现, 机器人应用对劳动者生命健康的积极作用所产生的收益也体现在医疗支出上。使用省级财政医疗卫生支出占地区生产总值的比重衡量医疗支出份额, 机器人应用对医疗支出占比影响的估计结果如表 11 所示。可见, 机器人渗透度的提升显著降低了地方财政医疗卫生支出占比。

表 11 机器人应用影响医疗支出的估计结果

	地方财政医疗卫生支出 占 GDP 比重 (%)	
	(1)	(2)
省份机器人渗透度 (按安装量计算)	-0.031 ** (0.013)	
省份机器人渗透度 (按存量计算)		-0.006 * (0.003)
控制变量	是	是
年份固定效应	是	是
省份固定效应	是	是
观测值	310	310
R <sup>2</sup>	0.975	0.975

注：各列回归中使用的控制变量同表 2；核心解释变量为省份年度机器人渗透度；括号内为聚类在省份层面的稳健标准误；\*\*\* 表示  $p < 0.01$ ，\*\* 表示  $p < 0.05$ ，\* 表示  $p < 0.1$ 。

资料来源：根据国际机器人联盟工业机器人数据、《中国劳动统计年鉴》数据和《中国统计年鉴》数据计算得到。

## 七 结论和政策启示

在当今科技快速发展的时代，新质生产力的核心体现之一——工业机器人的广泛应用，正逐步成为推动产业升级与安全生产的重要力量。为深入探讨这一变革对“科技兴安”战略的实际成效，本文聚焦于工业机器人应用，通过构建多维度数据分析框架，全面评估其对减少职业伤害及生命损失的作用。首先，本文依托 IFR 的机器人数据、CSMAR 中的安全生产事故记录，分别构造了各地区的年度机器人渗透度、年度安全生产事故数量与死亡人数的面板数据。这一创新性的数据融合方法，使得本文能够精准地考察工业机器人应用对劳动者职业安全的影响。研究结果显示，工业机器人的广泛应用显著降低了安全生产事故的发生率及由此导致的死亡人数，这一积极效应在省级层面的工伤死亡数据中也得到了验证。其次，基于 CLDS 微观数据，本文揭示了机器人减少职业伤害的三大机制：一是优化工作环境，减少户外工作；二是降低劳动强度，减轻劳动者身体负担；三是促进长期的雇佣合同签订，提高劳动者权益保障水平。异质性分析则揭示了机器人应用效果的区域差异：在制造业及第二产业占比较高的地区，尤其是高危行业集中区域，机器人的生命保护效应更为显著；医疗与工伤保障体

系完善的地区能够更好地与机器人技术形成协同效应，进一步放大其减少生命损失的效果。最后，本文还基于享乐主义工资模型对机器人应用带来的生命价值收益进行测算，为政策调整与资源配置提供重要依据。

基于此，本文得到了如下几个方面的政策启示。首先，应加大工业机器人研发与应用推广力度，优化产业结构布局。政府应加大对工业机器人技术研发的政策支持与资金投入，鼓励企业特别是高危行业企业加快机器人应用的步伐，提升生产自动化水平。引导产业结构向高技术、低风险的人工智能制造方向转型，鼓励企业采用机器人技术替代高风险、高强度的人工操作，从根本上减少职业伤害风险。其次，应进一步完善劳动权益和安全保障体系。健全劳动者权益保护机制，确保机器人应用过程中劳动者的合法权益得到全面有效维护。加强对工作强度和工作场所安全的法律保障，明确界定合理的工作时间，规范加班制度，制定严格的工作场所安全标准。同时，应加强医疗保障和工伤保障体系建设，提高工伤赔偿标准，确保受伤的劳动者能够得到及时、充分的医疗救助和经济补偿，减轻其经济压力和心理负担。最后，员工培训与安全生产管理体系的优化是提升生产安全水平的关键环节。企业应高度重视员工培训，不仅要加强安全知识教育，还要注重提升劳动者对新技术的掌握程度和熟练度，避免因操作不当引发的安全事故。此外，应建立健全安全生产事故监测与记录机制，及时、准确地分析工作场所的事故与伤害原因，为制定有效的预防措施提供科学依据。

## 参考文献：

- 陈佳莹、赵佩玉、赵勇（2022），《机器人与非正规就业》，《经济学动态》第12期，第67-83页。
- 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。
- 程名望、韦昕宇（2024），《合同约束力、劳动保护制度与农民工福祉——以上海市为例》，《管理世界》第3期，第147-161页。
- 何小钢、郭晓斌、刘叩明（2024），《机器人使用与职业伤害——理论机制与中国证据》，《人口与经济》第2期，第89-103页。

- 贾凯冬、夏一鸣、赵国昌 (2023), 《居家和社区养老服务与老年人精神健康》, 《世界经济》第 8 期, 第 163 - 185 页。
- 梁童心、齐亚强、叶华 (2019), 《职业是如何影响健康的? ——基于 2012 年中国劳动力动态调查的实证研究》, 《社会学研究》第 4 期, 第 193 - 217 页。
- 罗云、赵一归、张皓莹 (2024), 《新质生产力安全发展面临的重大风险挑战及对策》, 《中国应急管理》第 4 期, 第 6 - 11 页。
- 秦雪征、刘阳阳、李力行 (2010), 《生命的价值及其地区差异: 基于全国人口抽样调查的估计》, 《中国工业经济》第 10 期, 第 33 - 43 页。
- 王林辉、钱圆圆、宋冬林、董直庆 (2023), 《机器人应用的岗位转换效应及就业敏感性群体特征——来自微观个体层面的经验证据》, 《经济研究》第 7 期, 第 69 - 85 页。
- 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。
- 王永钦、董雯 (2023), 《人机之间: 机器人兴起对中国劳动者收入的影响》, 《世界经济》第 7 期, 第 88 - 115 页。
- 王玉泽、罗能生 (2020), 《空气污染、健康折旧与医疗成本——基于生理、心理及社会适应能力三重视角的研究》, 《经济研究》第 12 期, 第 80 - 97 页。
- 行伟波、田坤、石光 (2021), 《饮酒消费、致病风险与健康成本》, 《世界经济》第 5 期, 第 178 - 202 页。
- 闫雪凌、余沐乐、张雪原、吴芸杉 (2024), 《机器人应用与劳动健康: 基于宏微观的实证证据》, 《系统工程理论与实践》第 1 期, 第 148 - 172 页。
- 严中平等 (2012), 《中国近代经济史统计资料选辑》, 北京: 中国社会科学出版社。
- 杨思莹、王冰冰 (2023), 《工业智能化对劳动者职业伤害的影响研究》, 《经济经纬》第 1 期, 第 78 - 87 页。
- 姚加权、张锬澎、郭李鹏、冯绪 (2024), 《人工智能如何提升企业生产效率? ——基于劳动力技能结构调整的视角》, 《管理世界》第 2 期, 第 101 - 116 页。
- 易福金、余露芸、周天昊、严斌剑、王艳君 (2023), 《高温与认知能力——基于中老年群体的实证研究》, 《经济学 (季刊)》第 1 期, 第 389 - 408 页。
- 余玲铮、张沛康、魏下海 (2021), 《机器人如何影响劳动力市场雇佣关系: “技术—技能” 重塑机制的解释》, 《学术研究》第 2 期, 第 100 - 107 页。
- 赵建国、周德水 (2021), 《自我雇佣对农民工健康的影响》, 《世界经济》第 3 期, 第 184 - 204 页。

- 周广肃、李力行、孟岭生 (2021), 《智能化对中国劳动力市场的影响——基于就业广度和强度的分析》, 《金融研究》第6期, 第39-58页。
- 诸竹君、袁逸铭、焦嘉嘉 (2022), 《工业自动化与制造业创新行为》, 《中国工业经济》第7期, 第84-102页。
- Abeliansky, Ana Lucia, Matthias Beulmann & Klaus Prettnner (2024). Are They Coming for Us? Industrial Robots and the Mental Health of Workers. *Research Policy*, 53 (3), 104956.
- Acemoglu, Daron & Pascual Restrepo (2020). Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets. *Journal of Political Economy*, 128 (6), 2188-2244.
- Agrawal, Ajay, Joshua Gans & Avi Goldfarb (2019). Artificial Intelligence: The Ambiguous Labor Market Impact of Automating Prediction. *Journal of Economic Perspectives*, 33 (2), 31-49.
- Aldy, Joseph & Kip Viscusi (2004). Age Variations in Workers' Value of Statistical Life. *NBER Working Paper*, No. 10199.
- Arana-Landín, Germán, Iker Laskurain-Iturbe, Mikel Iturrate & Beñat Landeta-Manzano (2023). Assessing the Influence of Industry 4.0 Technologies on Occupational Health and Safety. *Heliyon*, 9 (3), e13720.
- Christensen, Henrik, Nancy Amato, Holly Yanco, et al. (2021). A Roadmap for US Robotics: From Internet to Robotics 2020 Edition. *Foundations and Trends in Robotics*, 8 (4), 307-424.
- Colman, Gregory & Dhaval Dave (2018). Unemployment and Health Behaviors over the Business Cycle: A Longitudinal View. *Southern Economic Journal*, 85 (1), 93-120.
- Furman, Jason & Robert Seamans (2019). AI and the Economy. *Innovation Policy and the Economy*, 19, 161-191.
- Gao, Qin, Sui Yang & Shi Li (2012). Labor Contracts and Social Insurance Participation Among Migrant Workers in China. *China Economic Review*, 23 (4), 1195-1205.
- Gihleb, Rania, Osea Giuntella, Luca Stella & Tianyi Wang (2022). Industrial Robots, Workers' Safety, and Health. *Labour Economics*, 78, 102205.
- Giuntella, Osea & Tianyi Wang (2019). Is an Army of Robots Marching on Chinese Jobs? *IZA Discussion Papers*, No. 12281.
- Giuntella, Osea, Yi Lu & Tianyi Wang (2022). How Do Workers and Households Adjust to

- Robots? Evidence from China. *NBER Working Paper*, No. 30707.
- Graetz, Georg & Guy Michaels (2018). Robots at Work. *The Review of Economics and Statistics*, 100 (5), 753 – 768.
- Gunadi, Christian & Hanbyul Ryu (2021). Does the Rise of Robotic Technology Make People Healthier? *Health Economics*, 30 (9), 2047 – 2062.
- Ing, Lili Yan & Rui Zhang (2022). Automation in Indonesia: Productivity, Quality, and Employment. In Lili Yan Ing & Gene Grossman (eds.), *Robots and AI: A New Economic Era*. London: Routledge, pp. 275 – 309.
- Jiang, Bernard & Charles Gainer (1987). A Cause-and-Effect Analysis of Robot Accidents. *Journal of Occupational Accidents*, 9 (1), 27 – 45.
- Karwowski, Waldemar, Mansour Rahimi & Tina Mihaly (1988). Effects of Computerized Automation and Robotics on Safety Performance of a Manufacturing Plant. *Journal of Occupational Accidents*, 10 (3), 217 – 233.
- Koch, Michael, Ilya Manuylov & Marcel Smolka (2021). Robots and Firms. *The Economic Journal*, 131 (638), 2553 – 2584.
- Kuka, Elira (2020). Quantifying the Benefits of Social Insurance: Unemployment Insurance and Health. *Review of Economics and Statistics*, 102 (3), 490 – 505.
- Layne, Larry (2023). Robot-Related Fatalities at Work in the United States, 1992 – 2017. *American Journal of Industrial Medicine*, 66 (6), 454 – 461.
- Liu, Qiren, Sen Luo & Robert Seamans (2024). Pain or Anxiety? The Health Consequences of Rising Robot Adoption in China. *Economics Letters*, 236, 111582.
- Nunn, Nathan & Nancy Qian (2014). US Food Aid and Civil Conflict. *American Economic Review*, 104 (6), 1630 – 1666.
- O'Brien, Rourke, Elizabeth Bair & Atheendar Venkataramani (2022). Death by Robots? Automation and Working-Age Mortality in the United States. *Demography*, 59 (2), 607 – 628.
- Rosen, Sherwin (1974). Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition. *Journal of Political Economy*, 82 (1), 34 – 55.
- Schultz, Theodore (1961). Investment in Human Capital. *American Economic Review*, 51 (1), 1 – 17.
- Smith, Stewart (1976). *The Occupational Safety and Health Act: Its Goals and Its Achievements*. Washington, DC: AEI Press.

Viscusi, Kip & Joseph Aldy (2003). The Value of a Statistical Life: A Critical Review of Market Estimates Throughout the World. *Journal of Risk and Uncertainty*, 27 (1), 5 – 76.

WHO & ILO (2021). *WHO/ILO Joint Estimates of the Work-Related Burden of Disease and Injury, 2000 – 2016: Global Monitoring Report*. Geneva: World Health Organization and the International Labour Organization.

Zhang, Xueyan, Zhongxu Wang & Tao Li (2010). The Current Status of Occupational Health in China. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 15 (5), 263 – 270.

## **Robots Adoption, Occupational Injury Reduction, and Gains of Life**

Yu Jinxia<sup>1</sup> & Gao Wenshu<sup>2</sup>

(School of Economics, University of Chinese Academy of Social Sciences<sup>1</sup>;

University of Chinese Academy of Social Sciences<sup>2</sup>)

**Abstract:** As a key practical form of new quality productive forces, industrial robots have become a driving force in occupational safety with their widespread application. This paper uses data from the International Federation of Robotics (IFR) and safety incident records from the China Stock Market & Accounting Research (CSMAR) Database, compiling annual data on robot penetration, safety incidents, and casualties across various cities. It empirically investigates the impact of industrial robots on occupational injuries and fatalities. The study shows that industrial robots significantly reduce workplace accidents and related fatalities. Mechanism analysis reveals that industrial robots reduce occupational injuries primarily by improving workplace conditions, reducing work intensity, and strengthening workers' rights protections. Heterogeneity analysis shows that the reduction in occupational injuries due to industrial robots is especially significant in regions with a higher proportion of manufacturing or secondary industry workers and regions with robust medical and work injury protection systems. Additionally, using the hedonic wage model, this paper estimates the life value benefits created by robot applications, offering insights for government policy-making and efficient resource allocation.

**Keywords:** industrial robots, occupational injuries, safe production, life value

**JEL Classification:** I10, J17, J28, O33

(责任编辑: 王 俊)