

机器代人趋势下的产业空间转型 研究评述与启示*

A Review and Implications of Industrial Spatial Transformation Research Under the Trend of Machine Substitution

许闻博 孙可意 王兴平

XU Wenbo, SUN Keyi, WANG Xingping

关键词 人机关系；机器代人；产业空间转型；空间范式

Keywords: human-machine relationship; machine substitution; industrial spatial transformation; spatial paradigm

提 要 随着数智化时代的来临，人和机器的关系面临结构性调整，并由此衍生出新的
人与空间的关系，塑造新的技术空间和社会空间。这一趋势在产业空间发展与演化中体
现得尤为突出。研究从技术和产业视角对人机关系的演化历程进行梳理，认为在机器具
有空间行为主体性的条件下，人、机器在地理空间分布上会发生多种场景的分异，并带
来城市产业空间秩序的调整。概览当下的研究前沿，机器代人引发的产业空间思考主要
集中在就业替代与区域格局演化、产城关系演化、产业空间智能化等方面，但缺乏对新
空间范式的系统性思考。基于当下技术趋势和实践需求，研究认为应当构建“人—机—
地—产”协同的空间分析框架，并就三个方面进行重点研究：关注机器主体性重构下的人
机空间再分配；关注实体制造空间减人化趋势下的产城空间再平衡；关注实体生产空
间与虚拟生产空间的关联协同。

Abstract: With the advent of the digital-intelligent era, the human-machine relationship is undergoing structural reorganization, giving rise to a new paradigm of human-space relationship. This transformation is reshaping both technological and social spatial frameworks, and is particularly prominent in the development and evolution of industrial space. From a techno-industrial perspective, this study systematically reviews the evolutionary trajectory of human-machine relations. It argues that when machines acquire spatial agency, their geographical distribution will exhibit scenario-specific patterns, thereby necessitating adjustments to urban industrial spatial order. Contemporary research frontiers primarily focus on the spatial implications of machine substitution regarding employment displacement and regional pattern evolution, the transformation of industry-city relationships, and the intelligence of industrial space. However, a critical gap remains in the systematic thinking about emerging spatial paradigms. In response to technological trends and practical needs, this research proposes establishing a collaborative spatial analysis framework integrating the dimensions of "human—machine—space—industry," and identifies three priority research directions: Investigating human-machine spatial reallocation under conditions of machine subjectivity reconstruction; Analyzing industry-city spatial rebalancing amid demographic decline in manufacturing spaces; Examining the correlation and collaboration between physical production space and virtual production space.

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202505003
文章编号 1000-3363(2025)05-0023-08

作者简介

许闻博，东南大学建筑学院博士研究生，
seuarchxwb@126.com
孙可意，东南大学建筑学院硕士研究生
王兴平，东南大学建筑学院教授、博士生导师，通信作者，wxpsx@seu.edu.cn

* 国家社科基金重点项目“推动共建‘一带一路’沿线中国境外产业园区高质量发展研究”（项目
编号：22AZD052）资助

技术进步对城市空间的塑造具有复杂和深远的影响。每当新技术出现并得以大规模产业化应用，人和机器的关系便会在技术系统与社会系统的双向作用下出现调整和重组，并投射到城市空间的内在组织和外在形态上。芒福德^[1]等城市理论家很早就将技术进步与城市发展研究相结合，认为“真正的技术革命不在于机器革新，而在于重建技术与人性的有机联系”，为我们审视城市发展历史提供了“技术史观”的重要维度。当下，新一代信息技术、人工智能等技术又将人类社会推向了生产系统变革的临界点，人机关系再次面临重大调整。新技术在大幅提高生产力的同时，催生了智能化生产空间^[2]，也引发了社会中对“机器代人”（即机器取代人的工作岗位）的强烈忧思。面对新的生产方式、劳动力流动趋势与产业链空间特征，亟须新的空间供给和适配策略^[3]。基于此，以机器代人为切入点对产业空间演化趋势的相关研究进行梳理，是探讨新技术驱动下未来城市的空间组织规律和作用机制的重要视角。

1 背景：机器代人的技术趋势与空间挑战

1.1 机器代人的技术谱系与阶段性特征

工业革命是人类现代经济社会结构建立的起点，也拉开了机器系统性和大规模替代人力的序章。从历史视角看，机器对人的替代总体可以分为4个阶段。

(1) 工具性的增强阶段（工业革命以前）：农业社会中的机械都是作为人体器官的物理延伸而存在的，即人类通过设计和操控机械装置或借用风力、水力等自然力量来放大自身的某一种生理机能，如体力或耐力等。虽然不同机械的复杂程度各异，但其本质上与阿基米德发明并使用杠杆没有本质性区别。

(2) 动力的替代阶段（第一、第二次工业革命）：蒸汽机和电力系统的发明使得人类社会生产开始突破人力、畜力和自然能的天花板，人畜力量不足的短板被填补，自然能不够持续稳定的缺陷也被克服。在此基础上，机械系统获得独立动力源，人类劳动力的能源价值几乎被机器所完全替代。人的价值更多转

向技术领域，这是人机之间首次出现较为明确的分工关系。

(3) 信息控制的替代阶段（第三次工业革命）：真空管和电子管的发明为“小电压控制强电流”提供了可能性^[4]，在冯·诺依曼体系结构^[5]的支撑下，机器不仅可以按照预设指令完成标准化作业流程，且机器和机器之间也能够达成直接的信息交互。在人类劳动力中，蓝领工人的需求下降，且更多地由操作员向监控者角色转变。

(4) 思考决策能力的替代阶段（人工智能技术阶段）：在大数据分析、深度学习等技术的推动下，机器突破了沿着人类设定程序运行的能力限制，开始参与认知层面的信息处理，并与人类实时交互并形成人机协同决策的能力。人机分工开始进一步向机器倾斜。随着脑机接口等技术的发展，不排除未来会形成生物智能与人工智慧深度融合的状态。

总体上，机器代人的技术逻辑可以分为两个维度：一是机器对人类的替代从肌肉力量替代逐步走向替代脑力，有学者^[6]据此划分了“第一次机器革命”和“第二次机器革命”；二是人类对机器操控模式的演进，从手工操控机械到通过程序指令操控机器逐步发展到用语言、意识操控机器，有学者^[7-8]从人类认知的角度提出了“第三次认知革命”“图灵革命”等概念。见图1。

1.2 技术哲学视角的人机分工演进趋势

人机关系总体上经历了工具论、伙伴论、共生论几个发展阶段。在工具论阶段，机器被看作是人类使用工具的一种延伸；人机伙伴论阶段，机器不再仅仅被视为完全被动的工具，而是在某些方面的能力超越人类，并与人类形成分工，如“人机共协计算”等技术理念的提出^[9]。当前人工智能已经成功跨越“不能用、不好用”到“可以用”的技术拐点^[10]进入了智能机的技术形态^[11]。智能机不仅对人的行为进行模仿，而且可以模拟人的思维和意识，导致“人类”与“类人”的边界进一步模糊^[12]。控制论的创始人诺伯特·维纳^[13]认为人与机器之间的关系不应仅仅是人对机器的控制，而应是相互协作和共生的关系，并指出人类社会最重要的关系将变成人与机器、机器与机器、人与人之间的关系。

但无论是对人工智能技术发展持有乐观还是悲观的态度^[13]，机器代人几乎是不可逆的趋势。随着劳动分工主体由单一主体人的分工拓展至人机双元主体分工协作，人机分工已成为第四次社会大分工的重要表现^[14]。而在人机分工过程中“机器换人”与“机器增强”（或称为“人机互助”）两种悖论效应（亦称“竞合共生”效应）往往同时存在^[15]。总体上看，相较于机器大工业时代人机之间直接二元对立，智能机械装置确实承担着“解放者”的重要角色，在一定程

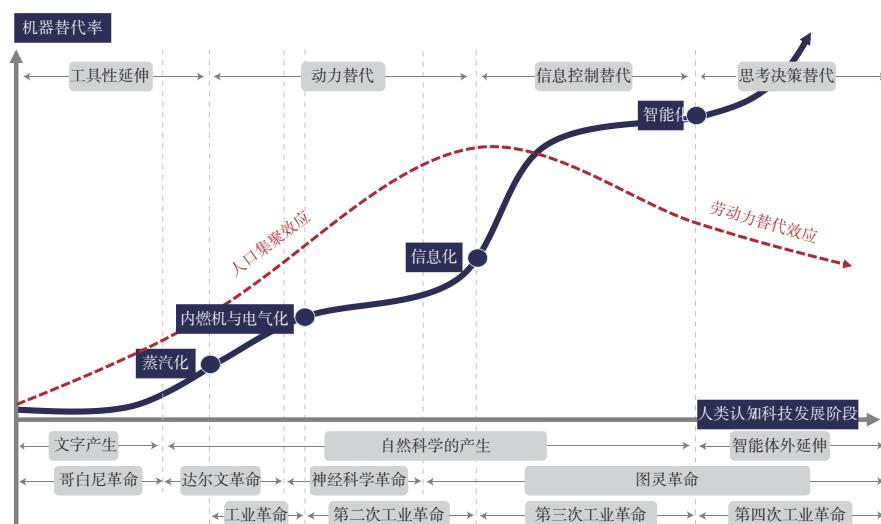


图1 机器代人的总体历史进程示意图
Fig.1 The overall historical process of machine substitution

度上解放了“人”，但劳动者随时面临被智能机器替代的风险^[16]。

1.3 机器代人研究进行空间转向的必要性

机器大工业构成了现代城市发展的生产力根基，也在构建城市规划思想和模式、塑造空间形态方面起到了决定性作用。一般来说，工业区是最能集中体现机器代人的空间场所，但在机器没有自主能力的情况下，机器的集聚和产业人口的集聚同步发生。因此，在相当长的一段时间内，虽然机器对人有一定替代作用（主要是动力替代），但也在工业化进程中创造了更多就业岗位，对社会的冲击相对可控。

当机器系统之间可以进行相互信息反馈和控制后，人类劳动力开始离开蓝领式的生产一线，机器对人的替代效应开始超越由机器大工业带来的就业人口集聚效应。人工智能技术的爆发进一步加剧了这个趋势：在工业领域，人类劳动力已经逐步脱离生产一线，产生了无人化工厂、无人化码头、无人化矿山等场景；在服务业领域，无人物流、无人驾驶等技术也处于大规模普及应用的关键时点。由此，机器代人有可能首次将人类劳动力挤出自工业文明形成以来人们所习惯的就业空间，并联动带来空间组织模式的根本性转变。可见，机器代人已经不再是一个隐性的哲学、技术或者社会关系命题，而逐步上升为一个显性的空间命题。

城乡规划学的相关学者已经意识到了新的技术经济范式带来的潜在空间冲击^[17]，以信息技术为代表的新兴技术将会极大改变城市的物质空间形态和运作方式^[18]。但目前讨论多从“技术—空间”的维度展开，如讨论虚实空间的关系^[19-20]、城市功能网络的分散化和扁平化^[21]、功能复合化^[22]等方面，对被机器替代的“人”与空间的关联性的关注偏少。杨永春等^[23]认为新技术的介入会使得城市人地关系从人地协同走向虚拟交互；许闻博等^[24]提出了人机深度协同下的城市空间人机分配模式（图2），但目前对这种模式依然缺乏具体的实证研究。总体而言，地理学、城乡规划学等空间属性的学科必须关注到最前沿的机器代人

空间实践，通过跨学科的理论研究和系统性的空间实证，填补这一面向未来城市发展关键问题的研究短板。

2 机器代人趋势下产业空间相关研究进展

制造业是机器人介入最早、应用规模最大和影响最显著的行业，以制造业功能为核心的产业空间的转型无疑是当下阶段机器代人研究关注的重点领域。近年来，各地纷纷推进智能工厂、黑灯工厂等建设，推动产业园区向着智能化、无人化方向发展，引起了区域、城市、园区、厂区等各个空间尺度的差异化空间效应。相关研究主要可以归纳为以下三个方面。

2.1 宏观层面：关注就业替代效应的行业和区域差异

机器对人类就业的替代是其影响区域和城市空间变迁的最核心因素。从历史上看，机器会取代人类的担忧最早源于李嘉图和约翰·巴顿，认为机器会排挤工人并造成人工劳动力的过剩^[25]。19世纪初期英国出现了著名的卢德运动，是因工人害怕生产机器取代自身工作而掀起的一场大规模砸毁生产机器以反对新技术应用的事件。一般认为，技术进步对产业和社会发展的影响总体是中性的^[26]，机器对劳动力就业的影响兼具“挤出效应”和“创造效应”^①。德隆·阿西莫格鲁等^[27]认为可以通过提升生产率来抵消机器对劳动力的替代，创造出

新的适宜人类劳动力的工作任务。但也有观点^[28]认为自动化有利于增长，不利于平等。总体上看，人工智能介入对劳动力就业的影响是结构性的，特别是显著提升了高技能和低技能的就业需求，中技能劳动力被替代程度最高^[29]，导致了就业的“两极化”现象^[30]。从就业岗位的劳动技能类型看，机器代人会导致一部分劳动岗位存在“技术升级”和“劳动降级”^②并存的趋势^[31]，但基于“隐性知识”的岗位^③最不易被机器人所复制取代^[32]。

从国际经验看，工业生产自动化和数字化水平的提升的确会直接取代一部分劳动力。在对美国制造业的研究中，虽然信息技术资本的富集会很大程度上提高劳动生产率，但其就业水平也下降得更快^[33]，并可能会导致工资的下降和劳动力过剩。在日本，约有55%的工作岗位处于较容易被计算机替代的状态^[34]。尽管中国相较欧美日属于后发工业国，且在劳动力成本方面更具优势，但也在珠三角、长三角等区域出现了较为显著的机器换人现象，在制造业企业中也出现了企业自动化水平与劳动力需求显著负向关系的情况^[35]。

就机器代人的区域差异性而言，整体上看，中国的制造业人口已经总体呈现“减人化”趋势，但以“产业—人口—空间”联动的视角来看，中国并没有陷入“过度去工业化”陷阱，而是处于一种技术驱动的良性去工业化^[36]。由于制造业劳动力就业出现“两极化”特征，传统产业工人出现“技术性失

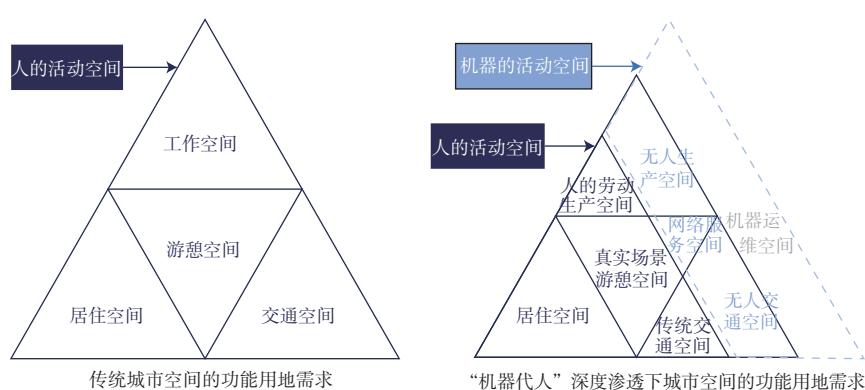


图2 人机空间分配假设和城市用地功能构成演化趋势

Fig.2 Assumption of human-machine space allocation and evolutionary trend of urban land composition
资料来源：根据参考文献[24]改绘

业”^[37]，劳动力要素不再在区域产业转移中起决定性作用，中等技术制造业发展成熟后不再优先向劳动力成本更低的内陆地区转移^[38]。而我国目前存在机器换人及劳动力产业间转移和区域回流同步存在的现象，说明我国城乡之间的二元结构仍然存在，劳动力市场仍具有一定地域特性^[39]。有研究^[40]显示，工业智能化对高层级城市企业产值的提升效应更为明显。一些从企业视角开展的研究也能证明上述判断：智能化环境中企业的地理格局往往由大规模企业主导，技术投入门槛会使企业“强者愈强，弱者愈弱”^[41]；新技术的应用可以使企业有效对冲劳动力价格抬升的成本影响，并降低企业的迁移概率^[42]。

机器代人在不同行业之间也体现出了显著的差异性。根据李郁教授团队^[43]研究，珠江三角洲的劳动力替代率约为10%，东莞市机器替代率约为16%，替代率最高的行业是通用设备制造业、金属制品业、橡胶制品业（图3）。在对佛山市顺德区的研究中，美的等典型企业的机器替代率约为22%，顺德区家电产业机器对劳动力的替代率约为11.15%，全区制造业机器对劳动力的平均替代率约为7.72%^[44]。

近年来，国内产业经济学、劳动经济学、人口资源环境学等学科的研究也关注到了制造业领域工业智能化对劳动力就业的影响，并对就业规模、结构、

流动、收入水平、稳定性等方面的影响进行测度和解释。这类研究主要通过人口、经济、产业、创新等方面的间接数据对工业智能化的水平进行测度，并通过经济学模型校验多种要素之间的关联性并解释其作用机制，但缺乏对空间现象的归纳和解释。

2.2 中观层面：关注产业区位选择变化与产城关系重构

机器代人进程的不断深入使得传统工业区位论对当下产业空间布局的解释力有所下降，交通和物流方式升级、产业空间减人化等导致产—城空间的关系发生了重大改变。黄经南教授团队^[45]研究认为产业空间的布局将会出现交通导向型、科技导向型两种演变模式。也有研究^[46]从产业门类出发，认为将会发生轻工业的“服务导向型”布局、重工业的“交通导向型”布局、创意工业的“科技导向型”布局几种模式。总体而言，劳动力费用在产业空间选址中的作用在不断弱化，而交通成本、土地成本、营商环境、创新网络等要素的影响力在不断提升。对深圳的相关研究^[47-48]表明，工业生产流程的不同环节在空间上呈现出分化特征，即工业生产活动“多中心连片”式分布于中心城区外围，工业研发活动“单中心零散”式分布于中心城区。

就产城空间关系的变化而言，智能

制造存在柔性化的发展趋势，并会推动生产组织的网络化转变，催生与新业态匹配的复合化空间^[22]。后福特主义的生产方式使得制造业空间在宏观上由集聚式布局走向分散、边缘布局^[49]。也有学者^[50]将国内智能制造产业集群分为园区型、城区型、区域型等3种布局形态。部分学者关注了都市圈尺度的产业空间演化分析，并发现了相似性的特征，即大都市郊区地带整体呈现出就业人口流出趋势，而中心城区的就业人口持续加密^[51]，特别是以制造业为主导功能的空间板块呈现出了人地规模失调的特征^[52-53]。也有学者^[54]通过对专业镇观察，发现“机器换人”的实施可以促进产业链条向服务业延伸，使得镇域空间实现了复合化转型。

2.3 微观层面：关注智能化厂区、园区的微观空间组织

技术进步会直接影响厂房、厂区的空间功能和形态，并由此引致产业园区空间布局的变化。自《中国制造2025》发布以来，我国工业界对智能工厂的研究不断涌现，逐步明确了智能工厂建设的总体架构^[55-56]。然而，受限于专业背景，这些研究主要关注的对象是生产技术和工艺流程，对产业空间规划建设的指导较为有限。

在城市规划、建筑学等领域，有部分学者已经关注到了新技术影响下产业空间利用模式向高效、集约、弹性化发展变化的趋势^[57]，认为相较于传统产业空间，智能化产业载体在形式、占地、跨度、层高和承重上均有不同程度改变，将对园区产业用地划分尺度与布局产生新要求^[22]。其中：陈嘉平等^[58]对中国46座“灯塔工厂”的行业特征和占地面积进行了分析，各工厂用地面积的平均数为1.03 km²，工厂的规模普遍偏大，但该研究并未对“灯塔工厂”和传统制造业工厂进行横向比较；朱凯等^[59]通过对杭州未来工厂的研究，认为产业空间在微观尺度上将会形成集约型商务模式、孵化型研制模式、复合型网链模式、工厂型制造模式；魏成教授团队^[60]研究认为，新的智能化生产系统给传统产业空间规划模式带来了一定挑战，将从功能复合化、环境品质化、载体智能化、用地组

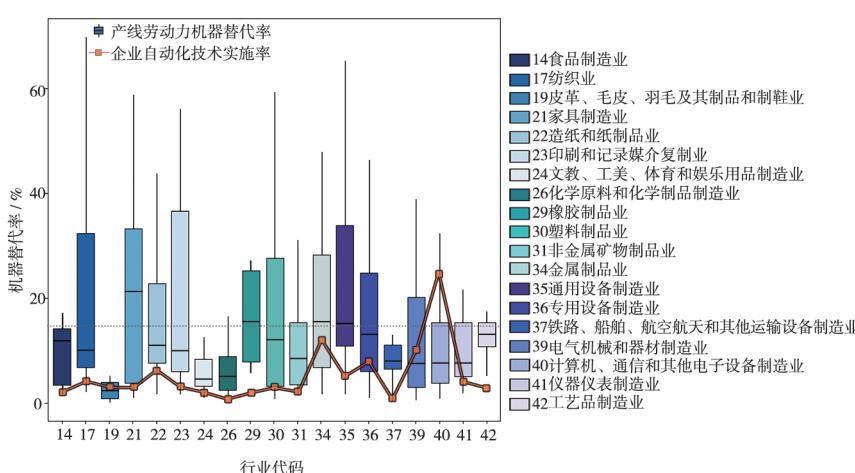


图3 东莞市制造业分行业的机器替代水平（2014-2016）

Fig.3 Machine substitution levels by manufacturing sub-sector in Dongguan city (2014-2016)
资料来源：作者根据参考文献[43]转绘

织优化等多方面对产业空间产生深远影响。总体上看，规划研究人员主要从园区和厂区空间模式的层面开展分析，研究更多指向用地布局、功能组织、厂房规模和形态、内部生产流线组织、基础设施配套等方面，并服务于物质空间的规划设计。

2.4 研究特征与不足

从既有研究的学科领域、空间尺度和研究重点来看，机器代人作为影响经济社会发展的重要变量已经引起了相关学科的关注，已有诸多学者前瞻性地关注到了新技术的应用对未来产业空间可能带来的影响，并试图从理论构建、模式推演以及规划实践方面做出相应的科学方案。但由于人工智能等新技术依然处于初生和快速成长期，空间响应相对滞后，能够观测的空间现象还相对稀缺，目前对于空间维度的研究依然存在理论构建和经验研究方面的不足。对于空间

演化过程与机制、空间需求与供给匹配、产—城—人协同效应等方面深入研究较为缺乏，亟须构建新的解释框架。见图4。

(1) 在区域层面，既有研究较多从劳动力要素在宏观区域尺度上的格局演化特征方面展开，重点关注人的规模增减和空间分布改变但相对忽视产业用地的规模和结构变化，对人口—用地的关联性研究不足，未来可以继续关注机器代人引致的产业用地“无人化”“减人化”现象及其规律的研究。

(2) 在城市层面，对产业空间变迁和城市结构演化研究较多，但主要关注产业园区等物质空间载体的区位、规模、功能和形态变化，而相对忽视机器代人之下人类劳动力的就业选择改变及其在城市内部空间中的“再流动”规律。后续研究必须注意到就业空间（人类劳动力的工作场所）和产业空间（具备生产功能的场所）的分化，并以此为切入点

重新思考产城关系的演化趋势。

(3) 在园区和厂区等微观空间层面，既有研究已经关注到了新型产业空间在物质空间功能和形态方面的变化，但对数智技术驱动下的产业空间内在组织逻辑的研究相对缺乏，特别是对企业管理、研发、制造和销售等不同环节在空间上的组合模式和“微区位”选择的研究不足，需要从工业生产系统内在组织模式出发进行空间规律的再挖掘。

3 研究启示：人机协同下的产业空间范式转型

3.1 机器的空间主体性重构：从工具性替代到行为活动性替代

在科技、文学、影视等诸多领域，人类一直在畅想着与人类一样具备智能的“硅基生命”的出现。早在1950年，美国科幻小说家艾萨克·阿西莫夫^[61]出版的作品《我，机器人》(I, Robot) 中提

分析尺度	区域产业格局层面	产城空间关系层面	厂区/园区空间层面
分析框架	劳动力流动—区域发展	产业变迁—城市空间结构响应	技术应用—新空间利用模式
现有研究的认识论	机器代人的技术属性	工业智能化及其区位变化	智能化产业空间的模式
	机器代人与劳动力市场的地域性	新产业空间的“弹性化”模式	产业用地规模改变
	机器代人的行业属性	产业从中心集聚走向分散、边缘布局	产业空间功能改变
	劳动力的区域迁移	就业由郊区向中心城区流动	产业空间形态改变
	企业的劳动力需求演化	大都市边缘区“产城分离”	智慧基础设施体系构建
涉及学科	产业经济学、劳动经济学、人口资源环境学	城乡规划学、产业经济学、地理学	城乡规划学、建筑学、总图运输等
典型研究范式	<p>生产率提升 就业结构改变</p> <p>工业智能化 制造业就业 服务业就业 区域就业空间响应</p>	<p>“机器代人”后工业在城市中的分布情形</p>	<p>大型制造单元空间模式</p>
研究不足	主要关注人，对物质空间的研究不足，缺乏人口—用地关联性研究	主要关注物质空间，对人的研究不足，较少关注人在城市空间中的“再流动”	主要聚焦空间本体的功能和形态，缺乏对产业环节微观组织的研究
未来研究潜在方向	机器代人引致的产业用地“无人化”“减人化”现象及其规律	就业空间和产业空间的分化带来的产城空间关系演化趋势	数智化技术驱动下的虚实结合的工业生产系统空间组织模式

图4 产业空间机器代人的现有研究框架总结

Fig.4 Summary of the existing research framework on machine substitution in industry space

出了著名的“机器人学三定律”，并被称为“现代机器人学的基石”。时至今日，机器人已经可以通过“行为计算”自主产生部分行为，虽然其本质上依然是电子机械装置，但已经成为了有“人味”的机器^[62]。在未来的生物机器人阶段，随着智能化水平的提高，机器人很可能以“其他人”的身份更深层次融入社会^[63]。

虽然机器人的这种自主能力是基于人类设定的算法和传感器系统实现的，但其还是获得了在很多空间场景中“临机决断”的能力和权限。在法学界，已有专家指出人形机器人可以列入法律责任主体范围，并提出了基本的法律治理架构^[64-65]。从技术发展与城市演化的互动历史来看，空间开发和使用的主体毫无疑问会从单一的人类拓展到“类人”，机器人将摆脱单一工具属性而具备一定程度的独立空间行动者的属性。特别是在产业空间中，机器对空间的占有和使用很大程度上会超过人类，并在空间上“排斥”和“挤出”人类。

由此，人机交互便不只发生在功能层面，而是成为一种未来城市中泛在的空间场景。尽管这种空间“排斥”和“挤出”是基于解放人类和提升生产力的目的，但事实上会导致人、机器在地理空间分布上的改变，并带来城市空间秩序的调整。这也就是人机关系演化会影响产业空间组织模式的核心逻辑。

3.2 空间资源配置逻辑变化：从“人地挂钩”到局部“人地脱钩”

理论上看，当机器人同时具备对人类劳动力的功能性替代和空间性替代，生产力发展、人口集聚、用地扩张这三者之间的耦合关系就不再稳定，将促进工业文明以来形成的“产—城—人”发展逻辑的消解，城市的空间资源投放从“人地挂钩”走向“人地脱钩”。这一转换的核心在于：工业文明背景下的传统城市空间与人类劳动力分布的紧密关联被打破，技术对人口、产业与空间组织的关系进行了虚拟层面和实体层面的跨区域重组，从而引发城市形态、功能布局和土地利用的深刻变革。以城市的具体发展模式而言，假设一个城市以工业生产为主要职能，在实体制造环节高度

“减人化”的条件下，产业规模扩张便失去了集聚人口和推动城镇化的作用。在现实中，我们观察到已经有部分城市出现了这个趋势，如盐城市、常州市等实体经济制造业发达的城市，或一些资源型城市等，均出现了人口收缩和空间增长的“人地脱钩”现象。一些以现代服务业、文化创意和消费驱动增长的城市则有可能同时出现人口增长和空间收缩，这似乎意味着城镇化和工业化在某些情形下也是可以脱钩的。

这一新趋势的出现对现行城市规划理念和技术均带来了较大冲击。片面“以人定地”的平均主义恐怕并不能适配所有城市的空间发展需求，至少是不能客观反映生产力发展需求。特别是在宏观区域层面，空间资源的配置会变得更加复杂化，工业区位、城镇区位长期以来的同构关系也会出现松动。极端情况下，我们甚至可以想象一座以“无人化制造”“无人化开采”“无人化港口”功能为主导的新型“无人城市”的出现。因此，在新的人机关系下，需要建立“人—机—地—产”协同演化的分析框架，将人和智能机器共同视为参与社会分工和使用城市空间的主体：既要重新审视机器主导生产背景下的产业空间承载力问题，又要以人为本持续优化环境品质；既要考虑机器代人带来的生产效率提升，又要兼顾劳动力被替代后的社会效益；同时还要科学保障产业空间供给和布局，提高空间效率。见图5。

3.3 人机协同下产业空间新模式的构建思考

3.3.1 机器主体性重构下的空间再分配

机器不是人类，机器只是服务于人

类。但无可置疑的是：当机器具备某些和人相似的行为活动能力之后，也需要与人类一样占用空间。由于并非所有的机器都能以低影响的方式进入人类社会，势必会有一部分机器的大规模应用会对人类活动空间形成挤压。类比生物界的演化规律，智能机器作为“新物种”介入原人类主导的产业空间秩序，人机关系势必要经历替代、适应和共栖、共生等不同阶段，在互动博弈下产生空间有机体的“排异反应”并逐步达到新的人机共生的空间秩序。对于规划从业者来说，分配协调好人和机器之间的空间关系，可能是未来城市规划和产业空间规划工作中的一项隐含条件：大到区域生产网络和物流网络的组织、港城关系和产城关系的协调，小到产业园区配套设施的规划建设、建筑功能形态与有人/无人物流系统的协调、数字化基础设施的覆盖和维护等，都要同步考虑人和机器使用空间的差异化需求。

3.3.2 制造空间减人化下的产城再平衡

长期以来，产业空间和就业空间这一组概念只是同一类空间的两种不同表述维度，承载产业功能的空间就是吸纳就业的空间。但在机器代人这一趋势逐渐明晰化之后，我们发现这一组概念的表意出现了微妙的变化：以制造业为核心的产业空间不一定能够集中承载就业，而城市中的以商务办公和研发为核心的就业空间正在体现出“分布式”和“原子化”的特点，产业空间和就业空间发生了脱钩。产业园区内人车稀少，外卖骑手、滴滴司机成为容纳就业的新蓄水池。由此，随着大规模产城之间通勤的消失，产业空间和城市空间之间也需要达成新的平衡。产城融合和“产城分离”

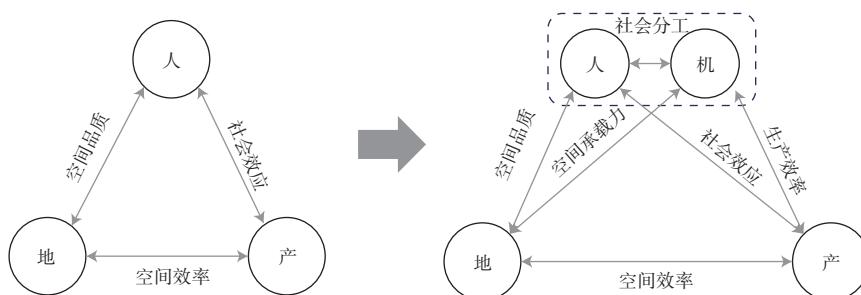


图5 从“人—地—产”到“人—机—地—产”的空间逻辑转换示意图
Fig.5 Spatial logic transformation from "human—land—industry" to "human—machine—land—industry"

两种趋势并存是未来潜在的演化方向。

3.3.3 实体生产空间与虚拟生产空间的关联协同

传统产业空间规划工作的对象多为物质空间，产业类型指引、功能分区、交通组织、形态设计、配套设施布局等是规划师处理这类空间的基本手段。但随着数智化时代的全面来临，产业空间也迈入了数字化、智能化发展的新阶段。在工厂车间、总部、研发实验室、销售终端等看得见摸得着的实体空间之外，工业云、工业互联网、工业大数据等技术催生的虚拟空间同样是生产体系中的重要组成部分，这类依靠信息流和算力构建的生产网络为企业的管理、研发、制造和销售等不同环节在空间上的跨域组织和离散化分布创造了条件。在工业生产的空间布局朝着“分布式”发展的大趋势下，代码和算法虽然无法直接改造物质空间，但却会在一定程度上重构产业空间分布和运营的底层逻辑，决定工业生产系统中人类个体和机器人的行为活动。因此，人机空间协同不仅发生在具象的传统意义上的产业空间中，也发生在数据化的空间之中。规划学界已经注意到了人工智能和算法在空间组织和空间治理中的重要角色^[66]，规划师对产业空间的规划设计需要更多带着“云端”的思维，注重空间的链式、网络化组织特征^[67]，推动产业空间规划研究从相对静态的产业门类、集群、企业的布局向动态的生产组织模式、生产环节、工艺流程、人机分工与配比等方面深化，更精准地匹配不同产业门类和生产环节的差异化空间需求。

4 结语

机器自身拥有智能，是以往的任何历史阶段都未曾出现过的重大变量。当数智化与“机器代人”的历史浪潮汹涌袭来，智能机器在提升人类社会生产力的同时，也必然要“索取”相应的空间，成为产业空间的重要使用者。人机关系已不再仅仅关系到哲学和伦理范畴，而是会转化为一个具体的空间问题。

研究发现已有不少专家学者正在关注人工智能等新技术带来的空间变革，其中不乏一些兼具理论深度和想象力的

研究观点，为人工智能时代的产业空间发展提供了重要的研究支撑。但研究也发现，由于技术的发展一日千里，目前的研究探索依然大多建立在传统的空间分析框架之上，对最新的技术趋势和应用场景缺乏系统性的理论思考，技术决定论依然是其中的主流方向，对技术驱动下的社会空间系统思考相对不足，特别是对被机器所替代人的空间关注不足。诚然，本研究也只是从人机关系演化的视角对未来产业空间的发展趋势和规划理念进行了有限的梳理和解读，未来将会基于此对人机关系演化下的产业空间理论构建和空间发展实证进行更多深入研究，以期为数智化时代未来城市的发展和规划提出新的思路。

感谢审稿专家对本文提出的宝贵意见！

注释

- ① “挤出效应”指机器直接取代重复性工作的人工岗位（如生产线工人），导致部分劳动者失业；“创造效应”指新技术应用催生出的新就业岗位，包括机械工程师、算法工程师、数据分析师等。
- ② 技术升级指机器通过智能化提升生产效率，劳动降级则是工人因技能被拆解为简单操作，逐渐沦为辅助角色甚至被替代的过程。
- ③ 工业生产中的隐性知识，是工人长期实践积累的、难以编码化的经验直觉与情境化技能，如精密手感、故障嗅觉或复杂问题解决的“诀窍”，构成了人相对于机器的核心优势。

参考文献

- [1] 芒福德. 技术与文明[M]. 林华,译. 北京:中信出版集团, 2025.
- [2] 王凯,赵燕菁,张京祥,等.“新质生产力与城乡规划”学术笔谈[J]. 城市规划学刊, 2024(4): 1–10.
- [3] 吴志强,严娟,徐浩文,等.城乡规划学科发展年度十大关键议题(2024—2025) [J]. 城市规划学刊, 2024(6): 8–11.
- [4] 维纳.人有人的用处:控制论与社会[M].陈步,译.北京:北京大学出版社, 2010.
- [5] 任晓明,潘沁,冯·诺依曼的计算机科学哲学思想[J].科学技术哲学研究, 2011, 28 (4): 18–22.
- [6] 王仕军,赵利群,胡志彬.新一代人工智能发展与中国应对:基于“第二次机器革命”的角度[J].电子政务, 2020(4): 58–69.
- [7] FLORIDI L. The fourth revolution: how the infosphere is reshaping human reality [M]. OUP Oxford, 2014.
- [8] 郭毅可.论人工智能历史、现状与未来发展战略[J].人民论坛·学术前沿, 2021(23): 41–53.
- [9] 王晨,任向实.从人机交互到人机共协计算:人机关系的思想演化和未来展望[J].科技导报, 2024, 42(8): 6–20.
- [10] 于汉超,汪峰,蒋树强.中国人工智能发展的若干紧要问题[J].科技导报, 2018, 36 (17): 40–44.
- [11] 董志芯,杨俊.人工智能发展的资本逻辑及其规制:兼评《人类简史》与《未来简史》[J].经济学家, 2018(8): 20–26.
- [12] 彭显焱,王丹.唯物史观视域下人机关系变革的历史逻辑[J].现代商贸工业, 2025 (2): 176–178.
- [13] 王卫华,杨俊.人工智能发展之经济学价值的经济哲学反思[J].西安财经大学学报, 2022, 35 (3): 54–64.
- [14] 何江,闫淑敏.人机劳动分工:生成逻辑、模式类型与作用机制[J].南开管理评论, 2024, 27(6): 88–99.
- [15] EINOLA K, KHOREVA V. Best friend or broken tool? exploring the co-existence of humans and artificial intelligence in the workplace ecosystem[J]. Human Resource Management, 2023, 62(1): 117–135.
- [16] 李琼琼,李振.智能时代“人机关系”辩证:马克思“人与机器”思想的当代回响[J].毛泽东邓小平理论研究, 2021(1): 71–79.
- [17] 周静,肖阳.人工智能时代技术进步与城乡发展研究的新议题[J].上海城市规划, 2022(5): 1–6.
- [18] 黄肇义,杨东援.未来城市理论比较研究[J].城市规划汇刊, 2001(1): 1–6.
- [19] BATTY M. Inventing future cities[M]. Cambridge: The MIT Press, 2018.
- [20] 吴志强,韩婧,赵倩,等.300年未来城市方案:特征梳理与本质思考[J].城市规划, 2025, 49(2): 4–12.
- [21] 王嵩,黄经南,王存颂,等.人工智能影响下的城市空间演变设想:基于城市未来学的视角[J].城市发展研究, 2023, 30(12): 1–8.
- [22] 魏成,陈赛男,沈静.人工智能驱动下的城市空间演变趋势与规划响应[J].城市发展

- 研究, 2022, 29(7): 47–54.
- [23] 杨永春, 管煜婷. 人工智能时代城市地理学发展的变革与挑战[J]. 地理学报, 2024, 79(10): 2425–2441.
- [24] 许闻博, 王兴平, 王乙喆. 无人经济趋势下的未来城市空间创新与规划应对[J]. 规划师, 2024, 40(6): 39–45.
- [25] 斯拉法. 李嘉图著作和通信集[M]. 北京: 商务印书馆, 1997.
- [26] SATO R. The estimation of biased technical change and the production function[J]. Quarterly Journal of Economics, 1992, 107 (1): 35–78.
- [27] ACEMOGLU D, RESTREPO P. The race between man and machine: implications of technology for growth, factor shares, and employment[J]. American Economic Review, 2018, 108(6): 1488–1542.
- [28] BERG A, BUFFIE E F, ZANNA L F. Should we fear the robot revolution? (the correct answer is yes)[J]. Journal of Monetary Economics, 2018, 97: 117–148.
- [29] 孟浩, 张美莎. 人工智能如何影响劳动力就业需求? 来自中国企业层面的经验证据[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2021, 41(5): 65–73.
- [30] 屈小博, 程杰. 中国就业结构变化:“升级”还是“两极化”? [J]. 劳动经济研究, 2015, 3 (1): 119–144.
- [31] 许怡, 叶欣. 技术升级劳动降级? 基于三家“机器换人”工厂的社会学考察[J]. 社会学研究, 2020, 35(3): 23–46.
- [32] 余玲铮, 魏下海, 孙中伟, 等. 工业机器人、工作任务与非常规能力溢价: 来自制造业“企业—工人”匹配调查的证据[J]. 管理世界, 2021, 37(1): 47–59.
- [33] ACEMOGLU D, HANSON G H, DORN D, et al. Return of the solow paradox? IT, productivity, and employment in US manufacturing[J]. American Economic Review, 2014, 104(5): 394–399.
- [34] DAVID B. Computer technology and probable job destructions in Japan: an evaluation[J]. Journal of the Japanese and International Economies, 2017, 43: 77–87.
- [35] 邵文波, 盛丹. 信息化与中国企业就业吸纳下降之谜[J]. 经济研究, 2017, 52(6): 120–136.
- [36] ZHOU L, JIE Y, YE Z, et al. Understanding the geographical process of the decline in manufacturing employment in China between 2000 and 2020[J]. Population, Space and Place, 2025, 31: e2855.
- [37] 孔高文, 刘莎莎, 孔东民. 机器人与就业: 基于行业与地区异质性的探索性分析[J]. 中国工业经济, 2020(8): 80–98.
- [38] 孙早, 侯玉琳. 工业智能化与产业梯度转移: 对“雁阵理论”的再检验[J]. 世界经济, 2021, 44(7): 29–54.
- [39] 游猎, 陈晨, 赵民. 跨越我国城乡发展的刘易斯拐点: “机器换人”现象引发的理论研究及政策思考[J]. 城市规划, 2017, 41(6): 9–17.
- [40] 王书斌. 工业智能化升级与城市层级结构分化[J]. 世界经济, 2020, 43(12): 102–125.
- [41] 王林辉, 姜昊, 董直庆. 工业智能化会重塑企业地理格局吗[J]. 中国工业经济, 2022 (2): 137–155.
- [42] 魏下海, 郭凯明, 吴春秀. 数字技术、用工成本与企业搬迁选择[J]. 中国人口科学, 2021(1): 104–116.
- [43] LI X, HUI E C, LANG W, et al. Transition from factor-driven to innovation-driven urbanization in China: a study of manufacturing industry automation in Dongguan City[J]. China Economic Review, 2020, 59: 101382.
- [44] 黄政瑜, 秦小珍, 周金苗.“机器代人”与城镇新增长模式: 以广东省佛山市顺德区为例[J]. 热带地理, 2019, 39(1): 11–19.
- [45] 黄经南, 杨石琳. 机器代人驱动下城市空间演变及规划对策: 一些初步的设想[J]. 城市发展研究, 2021, 28(3): 58–64.
- [46] 黄经南, 于光平, 杨石琳, 等. 从工业城市、后工业城市到人工智能城市: 由当前机器代人引发的城市产业空间演变思考[J]. 城市发展研究, 2023, 30(3): 98–105.
- [47] 毕学成, 张冬茵, 叶先权, 等.“地—房”视角下超大城市工业活动区位分布特征及驱动因素: 以深圳市为例[J]. 热带地理, 2025, 45(3): 374–385.
- [48] 许闻博, 王兴平, 陈秋伊. 制造业企业迁移和城市创新格局演化互动: 基于51家深圳企业的实证[J]. 城市规划学刊, 2023(3): 92–99.
- [49] 冉奥博, 杨东. 后福特主义下的新型智能产业空间规划策略[J]. 规划师, 2023, 39 (7): 16–23.
- [50] 秦静. 智能制造产业集群空间布局特征与规划响应[J]. 规划师, 2023, 39(7): 1–8.
- [51] 严雪心, 周婕, 盛富斌, 等. 大城市近郊区产业类型对就业人口流动的差异化影响: 以武汉市为例[J]. 经济地理, 2023, 43(10): 63–74.
- [52] 林诗佳, 钮心毅. “人口—产业”匹配视角下大城市空间结构演化特征与优化策略: 以上海市为例[J]. 上海城市规划, 2024(3): 86–93.
- [53] 张振龙, 吴迪, 蒋灵德. 城市人口—产业结构耦合协调发展水平测度及障碍因子分析: 以苏州市为例[J]. 现代城市研究, 2024 (6): 126–132.
- [54] 尹来盛, 张淑敏. 新型工业化背景下专业镇的转型升级路径研究: 以东莞市大朗镇“机器换人”为例[J]. 东莞理工学院学报, 2017, 24(4): 1–6.
- [55] 焦洪硕, 鲁建厦. 智能工厂及其关键技术研究现状综述[J]. 机电工程, 2018, 35(12): 1249–1258.
- [56] 杨春立. 我国智能工厂发展趋势分析 [J]. 中国工业评论, 2016(1): 56–63.
- [57] 李文竹, 梁佳宁, 李伟健, 等. 技术驱动下的未来城市空间规划响应研究: 以黑河市国土空间规划未来城市专题为例[J]. 规划师, 2023, 39(3): 27–35.
- [58] 陈嘉平, 曾嵘, 孙牧晨. 中国灯塔工厂分布特点及影响因素探析[C]// 中国城市规划学会. 人民城市, 规划赋能: 2023中国城市规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023.
- [59] 朱凯, 顾志凌, 孙婉香, 等. 面向未来工厂的城市产业空间微组织框架与模式研究[J]. 规划师, 2023, 39(5): 61–67.
- [60] 魏成, 陈赛男, 邱可盈, 等.“机器代人”时代的新型智能产业空间需求与规划响应: 以中山北部产业园规划设计为例[J]. 规划师, 2023, 39(7): 24–31.
- [61] 阿西莫夫. 机器人短篇全集[M]. 叶李华, 译. 南京: 江苏凤凰文艺出版社, 2014.
- [62] 封锡盛. 机器人不是人, 是机器, 但须当人看[J]. 科学与社会, 2015, 5(2): 1–9.
- [63] 李婷. 人与机器共同进化[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [64] 肖君拥, 周仕林. 人形机器人的法律主体资格论辩及其限度证立[J]. 学术交流, 2025, (1): 44–58.
- [65] 李晨. 人形机器人的法律治理基本架构[J]. 东方法学, 2024(3): 117–128.
- [66] EICHHOLZ L. Municipal AI integration: a structured approach[J/OL]. Frontiers of Urban and Rural Planning, 2025, 3(6): 152. [2025–07–05]. <https://doi.org/10.1007/s44243-025-00056-3>.
- [67] 袁奇峰, 李刚, 薛燕府. 产业集群视角下广州开发区的科创转型与空间响应[J]. 城市规划学刊, 2022(4): 95–102.

修回: 2025–07