

职业任务三元协作模型：数智人-机器人-生物人 “七巧板”职业分析框架

王涛, 张格宁, 谢远涵

(国防科技大学系统工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 针对传统职业模型的生物人一元主体静态局限, 提出“七巧板”三元协作动态框架, 重构职业定义为由数智人(digital human)、机器人(robot)与生物人(biological human)构成的动态协作网络。该框架通过任务原子分解与动态权重量化, 系统解析技术渗透对职业任务包的重构机制, 突破职业科学“人类任务包”的静态范式, 推动学科向“人机协作关系建模”的范式转型, 为探索通用人工智能(AGI)时代的职业预测、政策设计、教育重构提供科学基础。

关键词: 职业重构; 人机协作; 七巧板职业模型; 人机社会学

中图分类号: TP39

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-6652.ZNKX26048

Ternary collaborative model of occupational tasks: a tangram occupational analysis framework for digital humans-robots-biological humans

Wang Tao, Zhang Gening, Xie Yuanhan

College of Systems Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China

Abstract: Traditional occupational models were limited by a static perspective centered on the biological human. To overcome this, a “tangram”-inspired dynamic triadic collaboration framework was proposed that preconceived occupations as networks of digital humans, robots, and biological humans. By employing task-atomic decomposition and dynamic weighting quantification, the framework systematically unpacked how technological penetration reconstructed occupational task bundles. This approach breaks through the static “human task bundle” paradigm of occupational science and advances the discipline toward a human-machine collaboration modeling paradigm, which provides a scientific foundation for occupational forecasting, policy formulation, and educational restructuring in the artificial general intelligence era.

Key words: professional reconfiguration, human-machine collaboration, tangram occupational model, sociology of human-machine interaction

0 引言

人工智能技术的迅猛发展, 正以颠覆性的速度重塑人类社会的劳动范式与职业分工。麦肯锡全球研究院^[1]对自动化技术对全球主要经济体就业市场的潜在影响进行了预测, 指出全球约半数的工作岗

位可通过现有技术实现自动化, 预计到2030年, 这一比例可实现30%, 预示着劳动力市场的全面变革。Acemoglu等^[2]进一步量化了该趋势: 每增加一台工业机器人, 将导致周边都市地区减少约6名劳动力。刘骏等^[3]通过对58个国家的实证分析发现, 每台机器人每年可替代7万~8.3万小时的劳动量,

相当于减少39~46名劳动力。但人工智能对就业的影响并非简单的减法，它同时也在创造新需求。在美国，尽管计算机技术的应用导致350万个工作岗位流失，如打字员、秘书及簿记员等职业，但自1970年起，计算机技术累计新增了1580万个职位^[1]。孙文凯等^[4]基于中国综合社会调查（CGSS）数据的研究揭示，2003—2013年，尽管常规性工作领域发生了职位替代现象，但新增职位数量实际上超过了消失的职位数量。

在更深层面上，人工智能正推动劳动力市场的职业结构发生质的演变。宁光杰等^[5]发现，信息技术渗透促使高、中技能水平劳动者跨行业流动，而常规任务从业者“向下流动”，承受工资损失。毛日昇^[6]指出，机器人应用提升了城市层面的就业稳定性，促进劳动力向规模较大行业转移，同时放缓新企业进入速度，增加高学历和中间年龄群体的工作稳定性，促进企业人力资本积累。王林辉等^[7]发现，AI推动传统职业向新职业转型，任务向“非繁重、精简化、自由化”演进，并引发“再技能化”（增加技能宽度）与“去技能化”（降低技能深度）并存的复杂效应。王林辉等^[8]发现，机器人广泛应用后，劳动者从常规任务转向非常规任务，增加复杂问题解决与社交技能等跨行业可迁移技能需求，需要通过培训、学习、实践来提高“职业-技能合意性”。基于专利数据的实际证据进一步揭示，大语言模型等前沿技术的渗透已突破传统常规任务边界，正在实质性地重塑高技能职业的任务构成^[9]。

随着生成式人工智能的普及，职业系统进一步面临主体多元化的重构压力。生成式AI在语言理解与生成、推理与反思、文生图、文生视频等多模态场景方面表现良好，被应用于教育、医疗健康、金融等多个领域^[10]。数智人、类机器人也朝着实时、交互和多模态的设计与应用方向发展，在比赛、日常生活、搜救、工业制造业、医疗等多个领域中有较大的潜在应用前景。Demirci等^[11]指出，在引入ChatGPT后的8个月内，与写作和编码相关的易自动化工作的职位发布数量减少了21%，图像生成式人工智能技术的职位发布数量减少了17%。与此同时，世界经济论坛发布的《2025年未来就业报告》显示，就业机会净增7800万个，AI、机器人和能源系统领域的专业职位需求显著上升。

尽管技术革命带来了前所未有的机遇，传统的

职业研究体系却难以回应这一复杂局面。存在的理论困境一是大部分研究关注技术进步对职业的替代与创造的影响，如王林辉等^[12]应用机器学习模型测算职业替代率，发现思维类任务属性影响最大，技能宽度可缓冲替代风险。较少研究中间形态如增强或重定义的关系^[13]，即便有研究涉及此类关系，其分析仍多停留于概念提出或间接的效应描述层面^[14]。近年部分研究开始尝试突破这一局限，Eloundou等^[15]使用人工和LLM自身来判断LLM及包含LLM的软件完成特定任务的时间减少量来定义3种“暴露”程度。Shao等^[16]设计“人类参与度评估表”，将人与AI在参与程度由高到低划分为五级，前两级为AI取代人类能力，后三级为AI增强人类能力，以此来量化104个职业中844项任务的人机协作程度。在中国情境下，《管理世界》最新研究亦从微观任务层面切入：如张丹丹等^[17]基于125万条招聘信息，构建“大语言模型暴露度”指标，发现高暴露职业（如会计、程序员）薪资增幅下降、内部差距扩大。现实中不仅AI及其应用软件这类数智人会影响职业任务，机器的角色已从“劳动工具”演变为“劳动协作伙伴乃至竞争对手”^[18]。上述研究的视角仍是将AI或机器人视为外部工具或冲击变量，而非职业协作网络中的能动主体。

由此引发理论困境二，传统职业分类体系的静态性缺陷。现有体系如O*NET（occupational information network）、《中华人民共和国职业分类大典》以生物人为唯一对象，将职业简化为静态任务集合，并通过工具使用（如Photoshop）或技能要求（如获取信息）描述技术影响。然而，随着AGI时代的到来，这种静态模型已无法适应当下职业动态演化的现实需求。大模型作为智能社会的基底技术，其核心意义在于它不再是依附于人的工具，而是正在演化为具有伙伴乃至代理属性的“能动生产工具”^[19]。在零售业，AI小模型以精准视觉识别能力解决鼠害防控、收银监测，AI大模型则处理非标准任务如物流优化、能耗调节、打折预测等，推动机械任务执行者、运营者角色转向策略制定者^[20]；在文旅业，“AI游贵州”等应用结合RAG与LLM技术，提供全流程自动化行程规划服务^[21]。与此同时，机器人在具身智能方向的突破，使其在物理空间中成为不可忽视的协作主体。2024年，硅谷人工智能初创企业Figure AI公司与OpenAI合作

推出的Figure 01人形机器人，在与大模型深度融合后展现出了卓越的视觉识别与自然语言交互能力，能执行复杂的实际任务。宇树科技等企业相继推出多元化机器人产品，如运动竞技方向的G1-Comp足球明星、铁甲拳王。在公共服务业，南京地铁引入360°检测技术和车辆巡检机器人，并对数智人应用规则及责任界定进行评估^[22]。这些变化揭示了一个核心趋势：职业的任务包本质正转变为由生物人、数智人与机器人共同构成的分工协作网络，而非单纯的人类任务清单。职业本身作为现代社会“劳动分工基础”和“专业技能载体”，高质量的专业技能并非源于高度标准化或理性化，核心在于理解职业如何通过“管辖权”的争夺、协商与合作，构建一个动态、互相依赖的劳动分工网络^[23]。

综上，基于技术发展与职业研究体系滞后所引发的理论困境，本文聚焦生物人、数智人、机器人三元主体的动态协作模式及其对职业演化的影响，通过理论框架重构，揭示技术冲击下职业重塑的深层规律与演化路径。

1 理论溯源：职业描述模型的发展脉络与局限

传统职业描述模型主要包括Super^[24]的职业发展理论、Holland^[25]的RIASEC职业分类学、Krumboltz等^[26]的社会学习理论、Schein^[27]的职业锚理论、Spencer等^[28]的胜任力冰山模型、美国劳工部^[29]的O*NET工作要素方法、Autor等^[30]的任务模型、国际劳工组织^[31]的ISCO国际职业分类体系、Hamilton等^[13]的SAMR技术应用模型。以上模型共同构成职业研究的理论谱系，其核心目标是通过任务分解、能力匹配或技术影响分析揭示职业本质。传统职业模型的核心主张见表1。

Super^[24]于1953年提出的职业发展理论将职业生涯视为贯穿生命全程的发展过程，强调职业自我概念的形成与实现。该理论认为个体的职业选择和职业发展是自我概念不断实现的过程，职业成熟度随年龄增长而发展。该理论在职业咨询领域影响深远，提供了理解职业发展动态过程的框架。

Holland^[25]于1959年提出的职业分类学理论将职业兴趣划分为6种基本类型：现实型（realistic）、研究型（investigative）、艺术型（artistic）、社会型（social）、企业型（enterprising）和常规型（conventional），构建了著名的“RIASEC”模型。该理

表1 传统职业模型的核心主张

模型	核心主张	文献
职业发展理论	职业选择和发展是自我概念实现的过程	文献[24]
职业分类学	职业选择是人格与环境的静态匹配	文献[25]
社会学习理论	职业选择是社会学习过程的结果	文献[26]
职业锚理论	职业选择反映个体深层价值观和自我认知	文献[27]
胜任力冰山模型	个体素质分为显性和隐性能力	文献[28]
O*NET职业信息网络	六大维度描述职业静态属性	文献[29]
任务模型	将职业任务分为常规和非常规两大类	文献[30]
国际标准职业分类	制定的全球性职业分类框架	文献[31]
SAMR模型	技术对工作4个层次的影响	文献[13]

论的核心假设为：职业选择是个人人格特质与工作环境匹配的过程，强调“人-环境”适配性，将职业视为满足个体人格特征的静态环境。霍兰德职业兴趣模型在职业咨询和教育指导领域影响深远，成为职业兴趣测量的重要工具。

Krumboltz等^[26]于1976年提出的社会学习理论认为职业决策受遗传因素、环境条件、学习经验及任务取向技能的影响。该理论强调职业选择是社会学习过程的结果，个体通过观察和经验形成职业决策能力。社会学习理论为理解职业决策的复杂性提供了更全面的视角。

Schein^[27]于1978年提出的职业锚理论识别了个体在职业选择中的核心价值观和动机，包括技术/职能型、管理型、自主/独立型等类型。该理论强调职业选择反映个体的深层价值观和自我认知，为组织行为学提供了重要理论基础。职业锚理论在解释个体职业稳定性和组织承诺方面具有重要价值。

Spencer等^[28]于1993年提出的胜任力冰山模型关注区分高绩效者与普通绩效者的深层次特征，包括知识、技能、社会角色、自我概念、特质和动机等。胜任力模型在人力资源管理和职业发展领域有广泛应用。

美国劳工部^[29]于1998年开发的O*NET职业信息数据库系统，基于工作要素方法（position analysis questionnaire, PAQ）构建。该系统将职业描述分为六大领域：工作者特征、工作者要求、经验要求、职业要求、职业特定信息和工作组织，形成层次化结构。O*NET是当前最全面的职业分类体系之一，在职业咨询和劳动力市场分析中广泛应用。

Autor等^[30]于2003年提出的任务模型将职业分解为一系列任务,通过分析任务的自动化可能性来预测职业的自动化风险。该模型区分了常规任务与非常规任务,认为常规任务更容易被自动化技术替代。任务模型在分析技术对就业的影响方面具有开创性贡献,成为劳动经济学的重要分析工具。

国际劳工组织^[31]于2008年开发的国际标准职业分类(ISCO)体系采用“工作内容”和“技能水平”两个维度构建职业分类。最新版本是ISCO-08,为全球职业统计提供了标准化框架。ISCO体系在国际劳动力市场比较研究中具有重要价值。

Hamilton等^[13]于2016年提出的SAMR模型将技术对工作的改变分为4个层次:替代(substitution)、增强(augmentation)、修改(modification)和重构(redefinition)。该模型为理解技术对工作的多层次影响提供了分析框架,在教育技术领域应用广泛。SAMR模型的重构层次与职业动态重构理念高度契合。

麦肯锡全球研究院^[32]于2025年发布的报告基于对约800种职业的分析,根据自动化潜力将职业划分为7种职业原型,包括由AI代理主导的文字与数字任务、由机器人主导的物理与手动任务,以及人类、AI代理与机器人之间不同组合的协作形态。该研究的价值在于将职业分析视角从单一生物人拓展至三元主体。

上述以Super、Holland、O*NET等为代表的传统职业描述模型共同构成了职业研究的理论谱系,但均存在两个共性局限:生物人一元视角和静态任务观。这些模型将职业视为以生物人为唯一主体的静态任务集合或兴趣匹配过程,未能关注数智人和机器人作为职业协作主体的可能性,也忽视了技术渗透率、工具成熟度及制度约束对协作模式动态调整的驱动作用。麦肯锡全球研究院2025年的报告虽将分析视角从单一生物人拓展至三元主体,但其分类仍停留在职业层次。在此背景下,亟须构建新的理论框架,突破传统模型的静态局限,将分析单元下移至任务层面,以实现对职业动态演化的解释。

基于此,本研究提出“七巧板”三元协作动态框架,将职业重构为数智人、机器人、生物人三元主体的动态协作网络,通过任务原子分解与动态权重量化,解析技术渗透对职业任务包的重构机制。该模型定义了7种协作模式,揭示了职业任务重构

层(宏观)与协作边界调整层(微观)的双重动态性机制,为理解当今时代的职业演化提供了系统性分析工具。这一理论创新不仅弥补了传统模型的理论缺口,更为职业科学从“工具使用描述”向“人机协作关系建模”的范式转型提供了关键支撑,为后续“七巧板”三元协作动态框架的理论建构奠定了坚实基础。

本文的“七巧板”框架与既有职业描述体系构成互补而非替代关系。O*NET提供了以生物人为默认执行主体的标准化任务清单,可作为本模型的数据来源,但本框架将其从“任务由人类完成”的单一路径扩展为“任务可由3类主体以不同权重承担”的多种可能性,两者的理论层次差异在于,O*NET回答职业包含哪些任务,而本框架回答这些任务由谁承担及权重如何变化。麦肯锡全球研究院2025年的报告虽将职业分析视角拓展至三元主体,但其7种职业原型属于职业层次的静态归类;本框架则以任务原子为分析单元并引入动态权重机制,突破了职业层次分析的局限。与SAMR模型相比,7种协作模式可视作其“替代、增强、修改、重构”层次在主体维度的具体化,其中纯主体模式对应替代,二元协作对应增强与修改,三元协作对应重构,但本框架进一步回答了SAMR未探讨的问题,即被替代、增强或重构的是哪个主体以及以何种权重参与。对于中国职业分类大典,本框架旨在弥补其生物人一元静态描述的局限,可作为大典在智能化时代的动态补充工具,为未来职业分类体系的更新提供分析基础。

2 “七巧板”三元协作动态框架的理论建构

本节研究的核心目标是突破传统职业模型的生物人一元主体静态局限,提出机器人、数智人、生物人三元主体的7种协作模式分类框架(因其形状如同七巧板,故命名为“七巧板”三元协作动态职业模型,如图1所示),重构职业动态演化理论。这一理论建构的意义主要体现在3个方面:一是本体论层面将职业从“人类任务包”重构为“三元协作网络”;二是方法论层面通过任务原子分解与动态权重量化实现职业演化的可计算分析;三是应用层面为AGI时代的职业预测、政策设计与教育重构提供科学基础。

在阐述三元主体和7种协作模式之前,有必要明确两个核心概念的操作性定义。

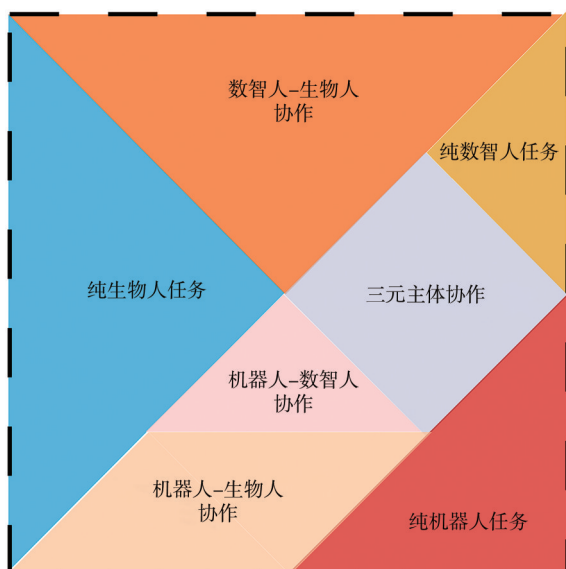


图1 “七巧板”三元协作动态职业模型

任务原子化：指将职业层面的复合任务包拆解为不可再分的最小任务单元的过程。原子化后的任务单元应满足3个标准：单一输出、单一主体可完成和边界清晰。任务原子化是本框架进行分析的操作前提。需要指出的是，“原子化”并不意味着任务之间相互独立，同一职业内部的不同任务之间存在时序依赖和层级决策关系。“原子化”是分析层面的操作，旨在使每个任务单元的协作模式可被单独识别和赋权。

动态权重：指在特定任务的执行中，3类主体的参与程度以连续变量（权重， $\omega \in [0, 1]$ ）来表示，且该权重随技术、制度、技能等外部条件的变化而动态调整。动态权重的引入使协作模式从类型学分类升级为可计算分析。

2.1 三元主体

本研究将职业主体从传统的单一生物人扩展为三元主体系统，其理论界定基于主体能力的互补性与不可替代性。在阐述前，需区分两组概念。

其一，数智人与通用人工智能（AGI）的区分。AGI指的是具备跨领域通用推理能力的智能系统，在理论上能够完成任何人类可完成的认知任务。而本文所称的“数智人”特指在特定组织或职业场景中承担具体任务角色的数字化智能代理，它被赋予了特定职业身份（如AI公务员、AI医生助理）和明确的职责边界，是通用AI能力在特定场景中的角色化封装，其核心特征在于角色化而非通用化。

其二，机器人与自动化设备的区分。自动化设

备（如传送带、自动售货机、验钞机）执行的是预设流程的固定操作，其行为完全由预先编程的规则决定，不具备基于环境感知的自主决策与自适应调整能力。而本文所称的“机器人”特指具身智能机器人，即具备感知-决策-执行闭环的物理实体，能够在非结构化环境中根据实时反馈自主调整行为。二者的关键分界线在于是否具备“智能体”特征。

在此基础上，3类主体的界定如下。

生物人：具备伦理判断与模糊决策能力，其核心价值在于处理高度不确定性、价值判断和跨领域整合任务。生物人的能力特征表现为：伦理敏感性，能评估技术应用的道德后果；情境适应性，能在模糊环境中做出判断；价值整合性，能平衡多方利益诉求。

数智人：执行数据驱动决策的智能实体，其核心能力在于大规模数据处理、模式识别与预测分析。数智人区别于传统工具的关键特征在于：自主决策能力，如GPT-4在“零示例”提示下独立生成术前麻醉方案，或基于大模型构建的“虚拟学生”参与教育交互设计^[33]；持续学习能力，能通过反馈机制优化决策；多模态整合能力，能融合文本、图像、语音等多源信息。数智人作为独立决策主体而非被动工具的定位，是本模型的重要理论创新。

机器人：作为物理空间执行体，其核心价值在于精确执行标准化操作。机器人的关键特征包括：具身智能，能在物理环境中感知与行动^[34]；高精度操作，如每秒钟可实现千次亚毫米级手术精准控制的术锐机器人“巧手”；环境适应性，能应对物理环境的实时变化。机器人与数智人的关键区别在于：前者强调物理空间操作能力，后者侧重信息空间决策能力。

2.2 7种协作

基于集合论原理和任务执行主体的独立或协同行为，三元主体系统可形成 $2^3-1=7$ 种非空子集组合，对应7种协作模式。这7种模式形成了动态演化的完整谱系，为职业演化预测提供实证基础，其关系如图2所示。

7种协作模式的理论特征与应用场景见表2。每种模式都具有明确的理论边界和动态演化路径。以纯人类主导任务模式为例，其核心场景集中于高伦理敏感领域（如医疗决策、司法审判），该模式的存在阈值受技术可行性与社会共识双重制约。如当自动驾驶技术可靠性趋近绝对安全时，常规驾驶

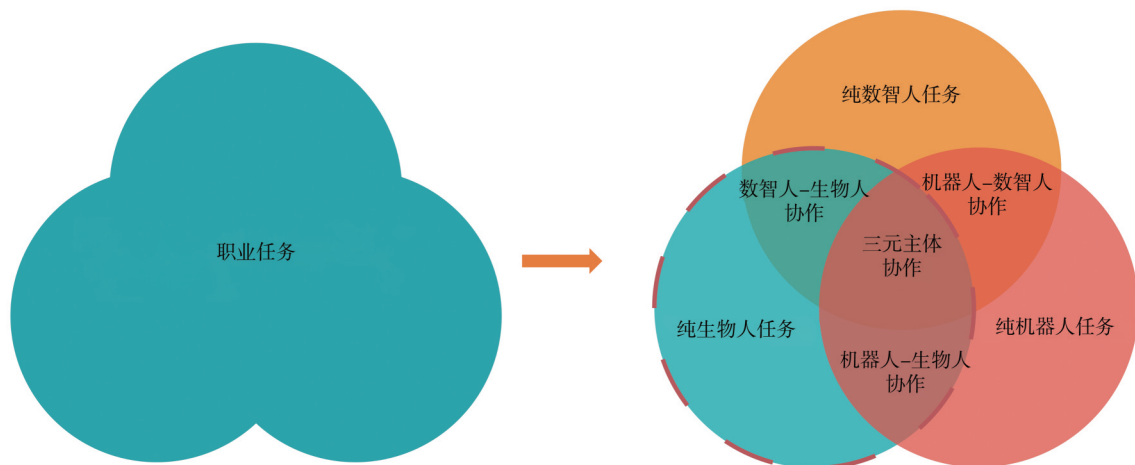


图2 7种协作模式关系

表2 7种协作模式的理论特征与应用场景

类型	特征	应用场景
纯机器人任务	标准化程度高、物理操作精确	擦洗、清洁、分类、包装和消毒医疗器械 ^[35] ； 家电中非刚性部件的操作和组装 ^[36] ； 工业运输和拣货 ^[37]
纯数智人任务	数据依赖性强、决策自动化	根据影像报告和病史分析健康趋势 ^[38] ； 人工智能客服，与客户积极互动 ^[39] ； 数据驱动实时检测金融欺诈 ^[40]
纯生物人任务	伦理敏感性高、价值判断强	需要伦理判断、艺术创作、原创性强的场景 ^[41]
机器人-数智人协作	闭环控制、实时反馈	医学治疗时通过眼动追踪机器人捕捉患者的不适后通过AI分析需求 ^[35] ； AI通过分析人机交互数据，自适应调整机器人行为模式，实现与人类无压力协同作业 ^[37]
机器人-生物人协作	人机互补、精准协作	在处理精细化程度高的手术时，医生通过控制台向机器人发出指令，避免微小颤抖 ^[35]
数智人-生物人协作	决策增强、人机协同	在客户服务中，异常和敏感情况需要人工进行紧急响应 ^[39] ； 数智人提供实时数据支持，协助生物人更高效地为客户制定出最优方案 ^[40]
三元主体协作	全流程协作、系统优化	物流仓库中，机器人负责货物的搬运和存储，数智人负责整个仓库的物流调度和数据分析，生物人主要负责处理特殊情况，确保机器人和数智人的正常运行 ^[42]

任务中的人类主导性将消退，但在极端伦理抉择场景（如“电车难题”），人类判断权仍不可替代。

3 职业演化的三元协作动态建模路径

本研究提出的3类主体7种协作模式的动态职业模型，从一个完整的由人类独有的职业任务拆分为3类主体独立或协作完成的7部分任务，每部分任务由不同主体独立或协作完成，突破了传统职业定义的静态范式，其动态性体现为宏观层的职业任务重构和微观层的协作边界调整两个层次的内涵。

3.1 职业任务重构层

技术冲击导致职业任务包的内涵随技术发展动态演化，表现为3个维度。

（1）任务边界扩展与消亡。如OCR技术普及使“打字员”职业的核心任务——文本录入，被纯机器人完全替代，但衍生出AI文档审核（生物人、数智

人协作模式）的新任务。这一过程符合Schumpeter^[43]的创造性破坏理论，但本模型揭示了其微观机制，即原有任务被原子化分解，部分子任务消亡，新子任务在其他协作模式下重生。

（2）任务权重再分配。如制造业中机器人渗透率达到一定比率时，生物人核心任务从装配操作转向工艺优化，任务权重从执行层向决策层迁移。这一现象验证了Autor^[14]关于任务升级的预测，但本模型通过权重量化提供了精确测量工具。

（3）任务重定义与融合。如自动驾驶技术催生“车联网安全监管”职业，其任务包整合了生物人（伦理合规）、数智人（算法监控）、机器人（数据采集）的协作。这种融合体现了职业边界的模糊化趋势，支持了Sennett^[44]关于“新工作伦理”的论述，但本模型提供了更精细的分析框架。

3.2 协作边界调整层

针对任意职业的某项具体任务，7种协作模式的权重分配并非固定，而是随多重因素动态调整。

一是技术普及驱动的协作模式转换。当数智人或机器人能独立完成某项任务时，该任务将退出人类职业清单。如手术机器人渗透率从20%提升至75%时，缝合操作任务权重从生物人主导转向机器人主导，若权重升至100%，则不再需要人类参与。传统银行柜员需要完成的点钞、验钞工作被验钞机替代；部分政务服务岗位也逐步由AI公务员承担等例子已能印证这一趋势。但与此同时，新技术引起社会分工和技能需求变化，也催生出AI数据标注员、提示词工程师等新职业。但技术理论上的替代潜力并不等同于实践中的实际权重。相关实证研究指出，主流大语言模型在人力资源管理特定职业实践中的实际影响力往往低于技术炒作，其任务接管程度受到具体业务场景与合规要求的严格制约^[45]。这进一步印证了本模型中动态权重并非单纯由技术成熟度决定，而是技术、制度与技能多因素耦合的结果。这一过程符合技术扩散理论，而本模型通过量化阈值提供了精确预测工具。

二是制度约束的反作用。如针对AI应用的伦理立法延迟可能导致医疗诊断自动化风险加剧，推动病理分析任务的生物人伦理决策权重从20%提升至40%，形成新的协作平衡。这验证了Bessen等^[46]关于技术-制度共同演化的观点，但本模型将制度因素纳入量化分析框架。

三是技能迁移的动态适配。如提示词工程师职业的生物人、数智人协作模式中，若AI代码生成效率提升30%，则生物人任务权重可能从50%降至30%，但其核心任务转向算法局限性的校验，形成新的协作边界。这一现象符合Acemoglu等^[2]关于任务内容变化的论述，但本模型揭示了技能迁移的具体机制。

为将上述定性描述转化为可计算分析的基础，本文对动态权重给出如下形式化定义。设某一职业的任务包为 $T=t_1, t_2, \dots, t_n$ ，对于任意任务 t_i ，定义三元主体参与权重向量为：

$$\omega_i = (\omega_{b,i}, \omega_{d,i}, \omega_{r,i}), \omega_{b,i} + \omega_{d,i} + \omega_{r,i} = 1, \\ \omega_{b,i}, \omega_{d,i}, \omega_{r,i} \in [0, 1] \quad (1)$$

其中， $\omega_{b,i}$ 、 $\omega_{d,i}$ 、 $\omega_{r,i}$ 分别表示生物人、数智人、机器人在任务 t_i 中的参与程度。设时间变量为 t

（以年为单位，代表技术变迁的阶段），记 $\omega(t)$ 为该职业任务包在时刻 t 的整体权重分配状态（即该职业所含全部任务权重向量的集合）。进一步设 f 为“技术-制度-技能”耦合映射函数，其输入为上一时刻的权重状态、当前技术渗透率、制度约束强度与技能适配度，输出为下一时刻的权重状态。权重的动态更新遵循如下函数关系：

$$\omega(t+1) = f(\omega(t), T(t), I(t), S(t)) \quad (2)$$

其中， $T(t)$ 表示技术渗透率（如某类机器人在行业中的部署密度）， $I(t)$ 表示制度约束强度（如伦理立法、行业准入标准）， $S(t)$ 表示劳动者的技能适配度。技术渗透率 $T(t)$ 决定了某一类任务能否被数智人或机器人替代的技术可能性，制度约束强度 $I(t)$ 决定了是否允许替代的合法性边界，技能适配度 $S(t)$ 决定了能否有效执行的人力条件。三者通过耦合函数 f 共同决定权重的实际演化路径：技术创造新的可能性空间，制度在此空间中划定可行边界，技能则决定实际可达的边界位置。三者之间的非线性耦合与时滞效应（制度建设常滞后于技术发展，技能更新又滞后于制度变化）正是动态权重需要持续追踪的复杂机制。

动态职业模型是本研究的核心思想，重构了职业研究的理论框架，借此为应对通用人工智能时代的劳动力变革提供了科学分析工具，为推动职业科学从工具使用描述向人机协作关系建模的范式转型提供一些探索。

4 基于三元协作视角的骨科医生职业重构分析

基于O*NET（美国劳工部职业信息网络，职业代码29-1242.00），对“骨科医生（不含儿科，orthopedic surgeons, except pediatric）”岗位任务的系统梳理见表3。

利用“七巧板”模型对应3类主体7种协作模式的分类与任务示例见表4，由此验证该框架在揭示职业演化机制时的可操作性与分析深度。表4中各类任务归属的判断基于以下分类依据：若一项任务可由算法独立完成、不需要物理操作且不涉及伦理权衡，则归为纯数智人任务；若一项任务需物理操作、流程高度标准化且不依赖价值判断，则归为纯机器人任务；若一项任务涉及伦理决策、价值权衡或跨领域整合，则归为纯生物人任务；若一项任务

表3 骨科医生（不含儿科）的任务列表（O*NET职业代码29-1242.00）

序号	任务内容
1	分析患者的病史、药物过敏情况、身体状况及各项检查结果,以评估手术必要性并确定最佳手术方案
2	开展研究,开发并测试可改进肌肉骨骼损伤与疾病手术流程及疗效的外科技术
3	在诊所、病房或手术室诊断身体功能障碍和骨科疾病,并提供相应的药物或手术治疗
4	诊断并治疗肌肉骨骼系统的各类疾病或损伤
5	指导并协调护士、助理、专科医生、住院医师及其他医疗人员的工作
6	检查手术器械、设备及手术室环境,以确保无菌要求得到满足
7	对患者进行体格检查,收集其病情信息并评估手术风险
8	在手术过程中严格遵循既定的外科操作规范
9	管理手术服务,包括手术计划、排期与协调,以及手术方式的确定和所需物资设备的采购
10	对患者的肌肉骨骼系统实施手术,以矫正畸形、修复损伤、预防或治疗疾病,或改善并恢复其功能
11	开具并解读各项实验室检查及影像诊断结果
12	编写并整理病历
13	开具术前和术后治疗及处置方案,如镇静剂、饮食、抗生素或手术区的准备与处理
14	为其他医师或外科医生提供会诊与手术协助
15	在必要时将患者转诊至相关专科医生或其他医疗机构

同时包含两种及以上主体的不可替代能力要素,则归为相应的协作模式。这一分类依据适用于本框架下任意职业的任务分解。

纯机器人任务模式下,外科机器人对缝合、切割等高重复性操作实现全自主规划与执行,将手术流程中对精度与一致性要求极高的标准化环节彻底自动化。Saeidi等^[47]构建的增强型自主腹腔镜肠吻合系统,在体外及体内猪模型中达到并超越资深外科医生的缝合精度,充分验证了此模式在软组织手术中提高手术安全性与可重复性的可行性与优势。

纯数智人任务模式体现为完全由人工智能独立完成决策过程。Malek等^[48]研究显示,在关闭上下文记忆与训练功能的前提下,ChatGPT-4.0以零样本提示方式对10例复杂术前病例进行心肺风险评估及麻醉方案设计,涵盖麻醉方式选择、气道管理、监测技术与术后镇痛策略,全过程未依赖任何人工或机器人干预,直观呈现了数智人对决策任务的独立承担。

纯生物人任务模式侧重伦理判断与个性化决策,该模式主要涵盖对高度不确定或涉及重大价值取舍情境的人工把控,如术前方案复核、突发并发症应对等环节,充分凸显生物人在伦理敏感和跨领域整合方面的不可替代性。

机器人-数智人协作模式采用闭环控制与实时反馈机制。以SurgSmart系统为例,手术机器人负责肿瘤切除的执行,数智人(基于自研大模型与多模态影像的SurgSmart系统)实时监测并预警出血风险。系统依托自研SurgInsight大模型与多模态腔镜影像,能够在机器人切除肿瘤过程中实时检测微量出血,循环出血瞬间自动标注并发出预警直至止血完成,为机器人执行超精细切割提供全程安全监控,有效提升了微创肿瘤切除的精准性与安全性^[49]。

机器人-生物人协作模式强调人机互补。术锐单孔腹腔镜手术机器人作为国内首款具备微创单孔操控能力的医疗机器人系统,在机器人-生物人协作模式下展现了精准互补的优势:外科医师(生物人)基于术前影像对肿瘤边界进行精准规划,术锐机器人则在2.5 cm皮肤切口内,沿规划轨迹以0.07~0.1 mm级精度实施超精细切割,有效提升了微创肿瘤切除的精确性与安全性^[50]。

数智人-生物人协作模式注重决策支持与方案

表4 3类主体7种协作模式的分类与任务示例

类型	对应任务序号	相关报道/研究
纯机器人任务	10	对缝合、切割等重复性操作进行全自主规划与执行 ^[47]
纯数智人任务	1、12	编写病历,术前独立完成心肺风险评估及麻醉方案生成 ^[48]
纯生物人任务	5、6、7、15	侧重伦理判断与个性化决策,如术前方案复核、突发并发症应对等环节
机器人-数智人协作	8	手术机器人负责肿瘤切除的执行,数智人(基于自研大模型与多模态影像的SurgSmart系统)实时监测并预警出血风险 ^[49]
机器人-生物人协作	14	外科医师基于术前影像对肿瘤边界进行精准规划,机器人实施超精细切割 ^[50]
数智人-生物人协作	3、4、9、11、13	数智人构建患者数字孪生模型,为肿瘤诊断、治疗决策与预后预测提供量化支持;生物人进行综合评估与方案优化 ^[51]
三元主体协作	2	物理治疗师制订康复方案并动态调整干预策略;数智人即FES系统自主调节电刺激强度;机器人即外骨骼在FES减弱时期,通过电机输出力矩保障患者完成既定动作,同时减轻肌肉负荷 ^[52]

优化。数智人基于多模态影像、组学及临床数据，通过深度学习与动态建模等算法构建患者数字孪生模型，为肿瘤诊断、治疗决策与预后预测提供量化支持；生物人则结合伦理判断及临床经验，对模型输出进行综合评估与方案优化，完成最终的个性化治疗实践^[51]，充分体现了协同增能效应。

三元主体协作模式在康复训练场景中得到典型应用：物理治疗师（生物人）、功能性电刺激系统（数智人）与助力外骨骼（机器人）三者协同，实现对患者运动轨迹的精准干预与疲劳管理。物理治疗师基于临床评估与伦理判断，制订康复方案并动态调整干预策略；功能性电刺激系统（数智人）通过实时肌电与运动数据驱动算法，自主调节电刺激强度——当肌肉疲劳水平较低时增大刺激以促进肌力提升，疲劳升高时则减少刺激；外骨骼（机器人）在功能性电刺激系统减弱时接替主要助力任务，通过电机输出力矩保障患者完成既定动作，同时减轻肌肉负荷。三元协作的核心目标是精准跟踪预定运动轨迹，次级目标为最小化肌肉疲劳。各主体通过定义权重的多目标优化模型（包括轨迹误差、外骨骼助力能量与疲劳指标）实现按需协助，体现了个性化、动态化与高效化的康复干预新范式^[52]。

为初步展示框架的动态分析能力，现以骨科医生 5 项代表性任务为例，示意在机器人渗透率逐步提升的 3 种情景下各项任务权重的变化趋势，结果见表 5。在此情景设定中，表 5 的权重数值并非实证测量结果，而是基于文献综述与专家判断构建的示意性假设，旨在直观呈现本框架捕捉技术渗透导致权重迁移的动态演化逻辑。关于权重的精确标定与实证测度，将在未来研究中作进一步探讨。

表 5 3 种情景下骨科医生代表性任务权重的变化趋势

代表性任务	当前权重	渗透率 30%	渗透率 60%
精细切割、缝合	$\omega_r=0.4$	$\omega_r=0.6$	$\omega_r=0.85$
术前风险评估	$\omega_d=0.3$	$\omega_d=0.5$	$\omega_d=0.7$
术中操作	$\omega_{br}=0.6$	$\omega_{br}=0.5$	$\omega_{br}=0.3$
诊断决策	$\omega_{db}=0.7$	$\omega_{db}=0.6$	$\omega_{db}=0.5$
伦理判断	$\omega_b=0.9$	$\omega_b=0.8$	$\omega_b=0.7$

为初步展示框架在不同行业中的可移植性，现以制造业（汽车总装线）和金融服务业（智能风控系统）为例，简要呈现两类典型场景下的协作模式分布（表 6）。两个场景分别代表了“物理操作密集型”和“信息处理密集型”两类职业环境，以说明框架在不同产业类型中的适用性。

基于“七巧板”框架对骨科医生 15 项核心任务的系统梳理，完成任务分解与协作模式映射。实验证明，机器人在高重复性操作中能够实现全自主执行，数智人可独立承担决策支持，生物人在伦理敏感环节保持不可替代地位；同时，各种二元和三元协作模式在手术全流程中发挥互补作用，共同提升精准性与安全性。传统的人机协作多为二元模式（单人-机器人），但在医疗康复、工业生产等领域，越来越多场景涉及人类、机器人/外骨骼与数智人三方同时协作。这类场景既有多主体配合的特点，也涉及物理人机交互。该分析不仅验证了框架的可操作性，也为跨行业应用及政策、教育层面的深入研究提供了方法示范。

5 结束语

5.1 主要结论

在通用人工智能时代，职业的本体内涵与任务结构正在发生显著演变。其一，职业形态从“静态任务包”向“生物人、数智人、机器人”三元主体协同演化的动态协作网络转变。其二，任务重构并非简单的机器替代，而是技术渗透、制度制约与技能迁移交叉作用下的任务权重动态演化过程。其三，生物人的核心价值重心发生转移，由传统的操作执行者演进为监督校正者、伦理审视者与创新引领者。在高精度医疗等典型场景中，机器人与数智人承接常规操作与数据决策，而伦理判断、模型校验与跨域整合愈发凸显生物人的不可替代性。

5.2 理论贡献与实践启示

在理论贡献方面，本研究主要在以下 3 个方面拓展了现有理论：一是本体论层面的延伸，形成三元主体在信息与物理空间中协同演化的动态网络，为辨识新兴职业形态与揭示任务重组机制提供了理

表 6 两类典型场景下的协作模式分布

行业	典型任务示例	当前主要协作模式	演化趋势
制造业	焊接、喷涂、质量检测	机器人-生物人协作	机器人权重上升，生物人从操作转向监督
金融服务业	交易监控、风险预警、异常审核	数智人-生物人协作	数智人权重上升，生物人聚焦边缘案例判断

论依据；二是方法论层面的丰富，提供了从定性描述到可计算分析的路径，界定了宏观职业任务重构与微观协作边界调整的分析框架；三是理论视角的转换，实现了从“技术冲击”到“协同演化”的视角转换，为职业科学由“工具使用描述”向“人机协作关系建模”转型提供了理论支撑。

在实践启示方面，为顺应生物人角色的重构，组织与政策设计需做出综合调整。在组织与人力资源管理层面，需深刻认识到生成式人工智能对职业职能的深远影响^[53]，警惕技术炒作与实际任务接管程度之间的落差^[54]，积极推动人力资源从传统“人力”向具备人机协同能力的“元力”演进^[55]。在人才培养上，应强化算法伦理审计与多主体协作监控能力，培育兼具伦理判断、技术驾驭与协同创新的复合型人才；在制度设计上，需在关键领域建立动态阈值机制，保障生物人在伦理决策与高风险任务中的最低参与度，以兼顾效率优化与风险防控，奠定人机协作可持续发展的制度基础。

5.3 框架的适用边界与社会风险

任何理论框架的适用性均有赖于对其边界条件与社会效应的清晰界定。本文构建的三元协作框架为职业分析提供了理论工具，但将其应用于现实组织情境时，可能引发的社会效应需纳入审慎考量。

(1) 责任归属的界定难题。当任务执行涉及数智人决策、机器人操作与生物人监督时，传统“谁决策、谁负责”的单一归责逻辑面临挑战。若术前方案由AI生成、手术由机器人执行、关键确认由医生完成，出错后的责任链条将变得复杂。本框架揭示了这一问题的结构性根源，但具体归责规则的制定有待法学、伦理学与管理学的交叉研究加以解决。

(2) 任务原子化与劳动异化风险。极细粒度的任务分割在提升效率的同时，可能导致劳动者丧失对工作全貌的把握。当外科医生的工作被分解为“确认方案、监督操作、处理异常”等离散环节时，其职业认同感和意义感可能被削弱。技术可行性不等于符合社会价值导向，未来在应用本框架时，需在效率优化与劳动者尊严之间寻求平衡。

(3) 生物人技能结构失衡风险。随着常规认知任务被接管，生物人核心价值向心智能力与综合能力聚焦。但若缺乏完善的教育支撑，部分劳动者可能陷入“既失去传统技能市场价值，又未能建立新型能力”的困境。这要求本框架的实践应用必须配

套相应的教育重构与技能再培训体系。

5.4 未来展望

以往职业科学研究多以静态框架界定职业范畴，难以揭示三元协作网络中的动态交互。未来研究应将重心由“岗位描述”转向“协作关系演化”，重点在以下3个层面深化。

一是模型参数化与跨行业实证检验。本框架给出的概念性函数 $\omega(t+1)=f(\omega(t),T(t),I(t),S(t))$ ，其具体形式与参数估计有待后续研究。未来可采集技术渗透率、制度变迁量化指标及劳动者技能多维测度数据，对函数进行实证校准。同时，选取制造、医疗、金融等典型行业进行跨案例比较，检验框架的适用性与边界条件。

二是权重标定方法与应用场景拓展。权重的具体标定是后续研究的核心议题。未来可探索基于任务属性量表的专家评分法、基于O*NET等数据库量化字段的统计映射法，以及基于实际运行日志（如人机交互时长、异常转人工率）的反向推算法。在此基础上，利用情景分析法对特定职业（如骨科医生）在未来5~10年的协作模式演化路径进行量化模拟。

三是跨学科融合与综合研究生态的构建。实现上述方法论转型须以多学科深度融合为依托：社会学考察协作模式的合法性与社会接受度；计算机科学利用多主体建模与数字孪生支撑动态仿真；教育学据此设计跨界课程体系。唯有在这一跨学科研究范式中，方能既根植社会现实，又具备技术深度与教育可操作性，为智能时代的劳动力变革奠定坚实基础。

参考文献：

- [1] McKinsey Global Institute. Jobs lost, jobs gained: what the future of work will mean for jobs, skills and wages[EB]. (2017-11-28)[2026-06-05].
- [2] Acemoglu D, Restrepo P. Robots and jobs: evidence from US labor markets[J]. Journal of Political Economy, 2020, 128(6): 2188-2244.
- [3] 刘骏, 刘涛雄, 谢康. 机器人可以缓解老龄化带来的中国劳动力短缺问题吗[J]. 财贸经济, 2021, 42(8): 145-160.
Liu J, Liu T X, Xie K. Can robots alleviate China's labor shortage due to population aging?[J]. Finance & Trade Economics, 2021, 42(8): 145-160.
- [4] 孙文凯, 郭杰, 赵忠, 等. 我国就业结构变动与技术升级研究[J]. 经济理论与经济管理, 2018, 38(6): 5-14.
Sun W K, Guo J, Zhao Z, et al. Analysis on technology upgrade and employment structure in China[J]. Economic Theory and Business Management, 2018, 38(6): 5-14.
- [5] 宁光杰, 崔慧敏, 付伟豪. 信息技术发展如何影响劳动力跨行业流动?: 基于工作任务与技能类型的实证研究[J]. 管理世界, 2023, 39(8): 1-19.

- Ning G J, Cui H M, Fu W H. How does information technology development affect labor mobility across Industries? An empirical study based on job tasks and skill types[J]. *Management World*, 2023, 39(8): 1-19.
- [6] 毛日昇. 工业机器人应用与就业再配置[J]. *管理世界*, 2024, 40(9): 98-116.
- Mao R S. The application of industrial robots and employment reallocation[J]. *Management World*, 2024, 40(9): 98-116.
- [7] 王林辉, 钱圆圆, 周慧琳, 等. 人工智能技术冲击和中国职业变迁方向[J]. *管理世界*, 2023, 39(11): 74-93.
- Wang L H, Qian Y Y, Zhou H L, et al. Artificial intelligence shocks and the direction of occupational change in China[J]. *Management World*, 2023, 39(11): 74-93.
- [8] 王林辉, 周慧琳, 钱圆圆, 等. 机器人应用冲击、职业可迁移技能和职业一技能合意性[J]. *管理世界*, 2024, 40(11): 85-103.
- Wang L H, Zhou H L, Qian Y Y, et al. Robot application shocks, occupational transferable skills, and occupational-skill desirability[J]. *Management World*, 2024, 40(11): 85-103.
- [9] Zhang G N, Wang T, Yao F. Patents reveal the reality: large language models are reshaping the landscape of high-skilled occupations[C]//Proceedings of the 2025 China Automation Congress (CAC). Piscataway: IEEE Press, 2025: 5647-5652.
- [10] Bubeck S, Chandrasekaran V, Eldan R, et al. Sparks of artificial general intelligence: early experiments with GPT-4[PP]. V5. (2023-04-13)[2026-06-05]. arXiv: arXiv.2303.12712.
- [11] Demirci O, Hannane J, Zhu X R. Who is AI replacing? the impact of generative AI on online freelancing platforms[J]. *Management Science*, 2025, 71(10): 8097-8108.
- [12] 王林辉, 胡晟明, 董重庆. 人工智能技术、任务属性与职业可替代风险: 来自微观层面的经验证据[J]. *管理世界*, 2022, 38(7): 60-78.
- Wang L H, Hu S M, Dong Z Q. Artificial intelligence technology, task attribute and occupational substitutable risk: empirical evidence from the micro-level[J]. *Management World*, 2022, 38(7): 60-78.
- [13] Hamilton E R, Rosenberg J M, Akcaoglu M. The substitution augmentation modification redefinition (SAMR) model: a critical review and suggestions for its use[J]. *TechTrends*, 2016, 60(5): 433-441.
- [14] Autor D H. Why are there still so many jobs? the history and future of workplace automation[J]. *Journal of Economic Perspectives*, 2015, 29(3): 3-30.
- [15] Eloundou T, Manning S, Mishkin P, et al. GPTs are GPTs: Labor market impact potential of LLMs[J]. *Science*, 2024, 384(6702): 1306-1308.
- [16] Shao Y J, Zope H, Jiang Y C, et al. Future of work with AI agents: auditing automation and augmentation potential across the U.S. workforce[PP]. V3. (2026-02-01)[2026-06-05]. arXiv: arXiv.2506.06576.
- [17] 张丹丹, 于航, 李力行, 等. 中国人工智能技术暴露度的测算及其对劳动需求的影响: 基于大语言模型的新证据[J]. *管理世界*, 2025(7): 59-72.
- Zhang D D, Yu H, Li L X, et al. The measurement of AI exposure and its impact on labor demand in China: evidence from large language models[J]. *Journal of Management World*, 2025(7): 59-72.
- [18] 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.
- He J, Yan S M. Human-machine labor division: generation logic, types and mechanism[J]. *Nankai Business Review*, 2024, 27(6): 88-99.
- [19] 肖峰. 大模型与智能社会: 基于历史唯物主义的探索[J]. *中国社会科学*, 2024(7): 71-89, 205-206.
- Xiao F. Big models and the intelligent society: an exploration based on historical materialism[J]. *Social Sciences in China*, 2024(7): 71-89, 205-206.
- [20] Rainy T A. AI-driven marketing analytics for retail strategy: a systematic review of data-backed campaign optimization[J]. *International Journal of Scientific Interdisciplinary Research*, 2025, 6(1): 28-59.
- [21] Talakoti M, Balam A, Jagli D, et al. Trip tailor: AI-powered travel planning with itinerary generation and chatbot assistance[J]. *International Journal of Environmental Sciences*, 2025, 11(4): 920-929.
- [22] 赵振江, 胡方阳, 王彩文. 南京地铁电客车“数智人+自然人”巡检协作模式研究及应用[J]. *现代城市轨道交通*, 2024(12): 29-35.
- Zhao Z J, Hu F Y, Wang C W. Research and application of “digital human+natural person” inspection cooperation mode of Nanjing metro trains[J]. *Modern Urban Transit*, 2024(12): 29-35.
- [23] 刘思达. 新发展格局下的当代中国职业研究: 从劳动分工到专业技能[J]. *中国社会科学*, 2023(4): 63-82, 205.
- Liu S D. Research on contemporary Chinese professions under the new development pattern: from the division of labor to professional skills[J]. *Social Sciences in China*, 2023(4): 63-82, 205.
- [24] Super D E. A theory of vocational development[J]. *American Psychologist*, 1953, 8(5): 185-190.
- [25] Holland J L. A theory of vocational choice[J]. *Journal of Counseling Psychology*, 1959, 6(1): 35-45.
- [26] Krumboltz J D, Mitchell A M, Jones G B. A social learning theory of career selection[J]. *The Counseling Psychologist*, 1976, 6(1): 71-81.
- [27] Schein E H. Career dynamics: matching individual and organizational needs[M]. Reading: Addison-Wesley, 1978.
- [28] Spencer L M J, Spencer S M. Competence at work: models for superior performance[M]. New York: John Wiley & Sons, 1993.
- [29] National Center for O*NET Development. The O*NET content model[EB]. (1998-12)[2026-06-05].
- [30] Autor D H, Levy F, Murnane R J. The skill content of recent technological change: an empirical exploration[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 2003, 118(4): 1279-1333.
- [31] International Labour Organization. International standard classification of occupations 2008 (ISCO-08): structure, group definitions and correspondence tables[EB]. (2012-05-10)[2026-06-05].
- [32] McKinsey Global Institute. Agents, robots, and us: skill partnerships in the age of AI[EB]. (2025-11-25)[2026-06-05].
- [33] Xie Y H, Wang T. Large-language-model-driven imperfect virtual students and their application design[C]//The 3rd Military Emerging Engineering Forum. Piscataway: IEEE Press, 2025: 280-296.
- [34] 王文晟, 谭宁, 黄凯, 等. 基于大模型的具身智能系统综述[J]. *自动化学报*, 2025, 51(1): 1-19.
- Wang W S, Tan N, Huang K, et al. Embodied intelligence systems based on large models: a survey[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2025, 51(1): 1-19.
- [35] Chen L S. The application of robots and eye tracking devices in a general dentist's clinic[C]//Proceedings of the 2013 IEEE Third International Conference on Consumer Electronics Berlin (ICCE-Berlin). Piscataway: IEEE Press, 2013: 5-7.
- [36] Andronas D, Arkouli Z, Zacharaki N, et al. On the perception and handling of deformable objects-A robotic cell for white goods industry[J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2022, 77: 102358.
- [37] Jacob F, Grosse E H, Morana S, et al. Picking with a robot colleague: a systematic literature review and evaluation of technology acceptance in human-robot collaborative warehouses[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2023, 180: 109262.
- [38] Reddy S. Generative AI in healthcare: an implementation science informed translational path on application, integration and governance[J]. *Implementation Science*, 2024, 19: 27.

- [39] Al-Mekhlal M, Al-Buraik M, Al-Lubli M. Digital transformation: AI-powered bot solutions and automation for customer services[C]//Proceedings of the 2023 International Conference on Digital Applications, Transformation & Economy (ICDATE). Piscataway: IEEE Press, 2023: 1-7.
- [40] Sunitha V, Malar S R P. Digital banking using AI[J]. Thiagarajar College of Preceptors Edu Spectra, 2025, 7(S1): 25-36.
- [41] Frey C B, Osborne M A. The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2017, 114: 254-280.
- [42] Adriaenssens A, Pintelon L, Costantino F, et al. Systems-theoretic interdependence analysis in robot-assisted warehouse management[J]. Safety Science, 2023, 168: 106294.
- [43] Schumpeter J A. Capitalism, Socialism and Democracy[M]. London: Routledge, 2010.
- [44] Sennett R. The corrosion of character: the personal consequences of work in the new capitalism[M]. New York: W. W. Norton & Company, 1998.
- [45] Xie Y H, Wang T, Sun J Y, et al. Hype or revolution: how GPT4, Claude3 opus, and GPT3.5 exaggerate their influence on HRM occupations exposed in practice[C]//Proceedings of the 2024 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). Piscataway: IEEE Press, 2024: 4574-4580.
- [46] Bessen J, Nuvolari A. Diffusing new technology without dissipating rents: some historical case studies of knowledge sharing[J]. Industrial and Corporate Change, 2019, 28(2): 365-388.
- [47] Saeidi H, Opfermann J D, Kam M, et al. Autonomous robotic laparoscopic surgery for intestinal anastomosis[J]. Science Robotics, 2022, 7(62): eabj2908.
- [48] Malek M A, Velzen M V, Dahan A, et al. Generation of preoperative anaesthetic plans by ChatGPT-4.0: a mixed-method study[J]. British Journal of Anaesthesia, 2025, 134(5): 1333-1340.
- [49] 潘旭涛, 杨林娜. 医疗装备迎更新改造, 手术机器人加速“上岗”有“妙手”[EB]. (2024-03-28)[2026-06-05].
Pan X T, Yang L N. Medical equipment faces renovation and upgrading: surgical robots step into operation posts with dexterous manipulators[EB]. (2024-03-28)[2026-06-05].
- [50] 成都市发展和改革委员会. 从手术刀到数据流: 与睿创新科技数据标注让外科手术长出“智慧眼”[EB]. (2025-03-22)[2026-06-05].
Chengdu Municipal Development and Reform Commission. From scalpels to data streams: Ruichuangxin Technology's data labeling endows surgical operations with intelligent vision[EB]. (2025-03-22) [2026-06-05].
- [51] Shen S Y, Qi W H, Liu X, et al. From virtual to reality: innovative practices of digital twins in tumor therapy[J]. Journal of Translational Medicine, 2025, 23: 348.
- [52] Gordon D F N, Christou A, Stouraitis T, et al. Adaptive assistive robotics: a framework for triadic collaboration between humans and robots[J]. Royal Society Open Science, 2023, 10(6): 221617.
- [53] Wang T, Zhang G. From manpower to “meta-power”: the future of human resources[C]//Proceedings of the 20th China Management Annual Conference (2025). Beijing: Chinese Association for Management Modernization, 2025: 2-7.
- [54] Xie Y H, Wang T, Sun J Y, et al. Hype or revolution: how GPT-4, Claude 3 Opus, and GPT-3.5 exaggerate their influence on HRM occupations exposed in practice[C]//Proceedings of 2024 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). Piscataway: IEEE Press, 2024: 4574-4580.
- [55] 谢远涵, 赵金辉, 黄山, 等. 生成式人工智能对人力资源管理职能的影响与应用[C]//第六届体系工程学术会议论文集: 体系工程与高质量发展. 昆明: 国防科技大学系统工程学院, 2024: 1083-1092.
Xie Y H, Zhao J H, Huang S, et al. Impacts and applications of generative artificial intelligence on human resource management functions[C]//Proceedings of the 6th Systems Engineering Academic Conference: Systems Engineering and High-Quality Development. Kunming: College of Systems Engineering, National University of Defense Technology, 2024: 1083-1092.

[作者简介]



王涛 (1986-), 男, 博士, 国防科技大学系统工程学院副教授, 主要研究方向为社会计算。



张格宁 (2002-), 女, 国防科技大学系统工程学院硕士生, 主要研究方向为社会计算。



谢远涵 (2000-), 男, 国防科技大学系统工程学院硕士生, 主要研究方向为数字孪生、社会模拟。