引用格式：石世英，彭新新，张永恒，等. 工业5.0背景下人机交互对项目韧性的作用机制研究——基于知识与能力视角[J]. 技术经济，2026，45(2)：91-101.

Shi Shiying，Peng Xinxin，Zhang Yongheng，et al. Research on the mechanism influences of human-robot interaction on project resilience from the knowledge and capability perspective in the context of industry 5.0[J]. Journal of Technology Economics，2026，45(2)：91-101.

技术经济管理

工业5.0背景下人机交互对项目韧性的作用机制研究

——基于知识与能力视角

石世英[1]，彭新新[1]，张永恒[2]，赵方方[3]，叶晓甦[4]

（1.河南理工大学工程管理系，焦作 454003；2.河南理工大学财经学院，焦作 454003；3.中国地质大学(武汉)经济管理学院，武汉 430078；4.重庆大学管理科学与房地产学院，重庆 400045）

摘 要：在工业5.0背景下，人工智能技术的嵌入对项目建造与运营的决策过程、资源配置方式、人机团队行为习惯和治理机制等产生重要影响，而项目场景中人机交互与项目韧性的作用机制鲜有研究。基于资源编排理论、知识基础观和动态能力理论，以资源编排作为中介变量，以知识势差与人机信任为调节变量，从知识与能力视角构建了一个有调节的中介作用模型探究人机交互对项目韧性的影响机制。369份项目样本数据分析结果表明：人机交互对项目韧性具有显著正向影响，人机信任在上述关系中发挥调节作用；资源编排在人机交互和项目韧性之间具有中介作用，而知识势差正向调节资源编排在人机交互与项目韧性之间的中介效应。研究结论有助于理解项目人机团队面对不确定环境时的行为交互和韧性反应，也为项目人机团队协同决策与项目韧性治理提供参考。同时，丰富了项目场景中人机交互与韧性的研究体系，为工业5.0背景下人工技术赋能项目韧性增强提供微观证据，为项目治理主体提供了实际的借鉴意义。

关键词：人机交互；项目韧性；知识势差；资源编排；人机信任；人机团队

中图分类号：F283 **文献标志码**：A **文章编号**：1002-980X(2026)02-0091-11

DOI：10.12404/j.issn.1002-980X.J24120209

一、引言

在工业5.0背景下，工程建造与管理正在朝着数字化和智能化的方向不断创新发展，人工智能作为新一轮产业变革的核心驱动力，不同产业领域的深度融合推动了原有产业、企业和劳动力的全面变革，成为支撑传统经济转型和可持续发展的重要动力[1-2]。在越来越多的项目决策场景中，人类智能与人工智能的交互嵌入促进传统经验和先进技术融合，促使决策主体行为由经验驱动转向知识驱动，在一定程度上实现资源合理运用与有效管理控制[3-4]，并有助于项目组织提升复杂信息甄别与解释、信息筛选与处理的能力，进而降低需求、能力等方面的不确定性，帮助决策主体进行资源重新配置、编排与利用[5]。然而，项目复杂性、不确定性环境和复杂人际关系需求等情境对传统项目控制与风险管理带来诸多挑战。它不仅需

收稿日期：2025-12-02

基金项目：河南省高校人文社会科学研究一般项目“多重约束下PPP项目伙伴关系维系机理与管理控制研究”(2025-ZDJH-077)；国家社会科学基金“数智变革下区域产业体系优势互补的机理与路径研究”(25BJY045)

作者简介：石世英(1987—)，博士，河南理工大学工程管理系讲师，硕士研究生导师，研究方向：项目韧性；彭新新(2000—)，河南理工大学工程管理系硕士研究生，研究方向：人机交互；张永恒(1981—)，博士，河南理工大学财经学院教授，研究方向：应用经济；赵方方(1996—)，中国地质大学(武汉)经济管理学院博士研究生，研究方向：人机协作；叶晓甦(1957—)，硕士，重庆大学管理科学与房地产学院教授，博士研究生导师，研究方向：项目管理。

要具有灵活性、适应性和前瞻性的策略,更需要较强的不利事件应对与快速回复的项目,这也使得从项目层面探究韧性成为焦点。此外,在工业5.0背景下,人工智能技术的引入对生产方式、行为决策和知识价值链产生积极影响,人与机器人的关系正逐渐从“助手”转变为“工作伙伴”,人工智能技术对智能技术时代的知识结构体系和学习方法体系的发展做出了重要贡献[6-7]。例如,DeepMind推出的AlphaFold为药物研发提供新的路径,人机团队利用人工智能技术能够快速、准确和高效的药物研发科学问题解决,并增强项目在面临复杂性问题和应对不确定实践过程中的韧性[8]。由此可见,在项目管理场景中重视人机智能协作,不仅是增强工程项目应对复杂性且不确定性环境挑战的关键[9-10],也是适应以人为本的工业5.0的韧性与可持续性内涵、人智协同创新和提升项目韧性/恢复力的迫切需求。

在不稳定性(volatility)、不确定性(uncertainty)、复杂性(complexity)、模糊性(ambiguity)(以下简称VUCA)的外部环境下,项目韧性成为项目成功、不利事件应对、价值创造不可或缺的特征[11-12]。作为项目的执行者,项目团队行为深刻影响组织决策,尤其对于知识密集型组织,项目团队往往对组织有效管理复杂任务与实现预期目标具有重要影响[4,12],其行为直接影响项目成功与绩效实现。然而,不接受数字化转型的项目管理通常会产生成本无效、项目延迟、质量参差不齐、决策偏差及项目失败等问题[13-14],而人机组队、人机共享任务与空间、高效协作是当前及未来最灵活、最经济的解决方案[15-16]。人工智能(AI)赋能的项目团队不仅在商业运营、价值创造、有价值的管理决策及工作可靠性提升等方面具有显著优势[14],而且也改变了要素的交互方式和项目利益主体的协作模式。另外,人工智能包含的高度不确定性和风险不仅凸显了智能化时代的技术复杂性和社会脆弱性,而且也可能诱发技术接纳与适应、组织再造与治理、风险等问题,这也给人机交互的作用机理与运行机制带来挑战[17-18]。现有关于人机交互及其影响的研究主要聚焦在:人机交互关系及协作模式形成机理[19];人机交互对组织行为、工作设计、工作流程、生产效率等的影响[20-21];人机交互与建筑韧性[22]。已有成果提出人机交互对韧性的重要性,也对人机交互的理论研究与实践认知提供了一定的支撑[23-24]。然而,在工业5.0背景下的人机交互决策过程,由于人工智能与环境之间的复杂互动形成的不确定性又反馈给人类智能,人工智能是否会助长项目团队的冒险行为,以及项目团队在不利事件冲击或韧性提升中主体责任如何发挥作用[25],这些新特征对人机交互和项目韧性的新影响是什么。这些问题需要进一步关注和探究。

面向“以人为本、可持续、韧性”的工业5.0,多智能体技术逐渐融入项目管理场景,致使项目治理决策开始呈现一种智能化和数字化的转型趋向,并重视系统对不确定性环境的动态适应能力。一方面,数智技术的嵌入为项目治理带来了“技术赋能”的效用,基于多智能体技术系统获取人机团队应对不利事件的知识信息、要素资源和人机协同成长路径,并将知识转移信息动态反馈给项目团队以优化人机知识势差与提升复杂工程问题的分析与解决能力;另一方面,“技术负外部性”也导致人机项目管理团队面临着公平、弹性、信任、适应性和知识位势等问题[6,18,22],更加需要深刻思考工业5.0“以人为本、可持续、韧性”内涵在项目管理场景下人机交互中的科学释义与实践执行。在工程实践中,项目执行的人机团队需要持续学习和协作互动来提升项目在不利条件中恢复生产或工作的能力[26-27]。当人机交互通过辅助决策或直接决策决定各种工程项目问题及团队成员利益诉求时,团队成员对智能机器协同决策信任与否、团队成员与人工智能体之间的知识结构与类型差异影响人机团队的协同性与可靠性、关乎项目成功和韧性提升,这也符合人机信任问题范畴[28]。而知识是提高问题解决能力的关键资源,知识获取与学习、资源构建与编排有助于团队有效地处理不利事件[29-30]。然而,不同主体所拥有或掌握的知识资源在结构、类型上存在差异,这种差异产生了不同的知识势差[31-32]。知识势差影响知识学习与共享行为,也有助于团队有效应对不确定性和提升决策韧性。更进一步,在项目人机交互过程中,面对不确定性决策或者决策主体利益诉求时,人机团队中人类群体与人工智能体之间的知识资源结构与类型差异对人机协同和项目响应不利事件冲击的韧性具有重要影响。基于此,本文立足于工业5.0和项目情境,基于资源编排理论和知识观视角,探讨人机交互如何助推项目韧性提升的作用机制,为项目情境中的人机协作治理、项目韧性改善提供理论支撑。

二、理论基础与研究假设

（一）人机交互与项目韧性的关系

人机交互是人、智能机器人和工作环境三个要素之间交互作用并形成以完成某项复杂任务为目标的动态系统[9,19]，并对人机团队工作方式、决策过程、资源组合和交互行为等产生深刻影响[15,33]。在工业 5.0 背景下，自主创新能力已经成为组织保持竞争优势的源泉，人类智能只有不断创新才能获得更好地发展[2]。新兴技术的引入改变了员工的工作惯例及原有的利益分配格局，往往会造成人员的不确定感和潜在威胁感，人类智能需要持续学习新知识和技能，从而避免被机器替代，甚至还可以用人类智慧反哺智能系统从而实现高水平的智能增强[1,15]。在人类智能和人工智能组成的人机团队中："人"主要涉及团队工作人员、管理主体及决策制定者等；"机"包括但不限于具备存储、嵌入计算和执行功能的智能机器[34]。项目韧性主要体现在项目团队预测、遏制和从项目环境的不确定性和复杂性引起的逆境或失败中恢复的能力[11]。其中人机团队是由人类和智能机器人构成，并在意图表达、信息获取与分析、决策逻辑和行动执行等方面进行协同决策来应对复杂任务需求[4,7]。

在项目人机交互过程中，人机团队是项目韧性实现的关键[11,14]，团队面临的项目任务环境更为复杂、不确定性更高和专业化更强，团队单个成员很难拥有完成任务所需的全部资源，机器人的智能需要与人的智能相协调，成为互补资源。人类活动越合乎逻辑，就越容易被算法化和程序化。通过这种方式，人工智能可以帮助人类有效地处理大量数据，并给出最佳决策解决方案。员工可以从烦琐和重复的工作中解脱出来，能够更多地专注于核心任务，用创造力解决更高层次的问题。依据团队过程理论，团队成员相互依赖行为通过认知、语言和行为的交互，将资源、信息等输入成功转化为团队行为结果（如韧性、效能等）[35]。在人机团队中，人工智能技术优化了团队成员的认知模式、知识结构、语言表达和行为表现[22,33]，从而改变了项目的资源结构和应对能力，进而增强项目韧性。

基于此，提出研究假设：

在项目人机团队中，人机交互对项目韧性具有显著的正向影响（H1）。

（二）资源编排的中介作用

根据资源编排理论和动态能力理论可知，任何组织都很难拥有其生存发展所需的全部资源，常常需要从外部环境中获取关键资源，并合理利用资源助推团队改善项目当前的困境、提升其应对环境不确定性的韧性能力[30,36]。资源编排强调组织或团队根据其内外部环境动态调整资源组合，并结合自身特征与资源需求结构进行资源甄选与配置，从而形成特定能力、产生持续竞争优势并创造价值才能[36]，是组织对内外部资源进行识别、甄选、组合、利用与管理的能力[30]。在人工智能嵌入组织管理过程中，人工智能的融入推动了组织或团队治理数智化转型，通过深度学习、自我强化与人机交互精准甄别资源、整合外部资源与既有信息、实现资源有效积累与高效协同的资源组合[36-37]，从而驱动人机团队有效地进行资源组织与管理、人机资源结构优化、不确定性决策及快速响应不利事件冲击[12,17,30]。为了促进项目成功和实现价值创造，项目内外部各类资源需要被有效地组织和管理。人工智能系统集聚了广泛的项目信息、数据和资源，人机团队通过分工精细化、资源共享与优化配置、数据智能处理和互补协调提高资源利用效率和人机交互可靠性，有针对性地组织、保护和分配其关键资源。而且，根据需求变化或新需求的引入，通过人机学习优化资源获取机制和设计适应性调节机制，进而增强项目韧性。在此基础上，本文认为资源编排是项目人机团队在项目执行过程中从团队内外部资源拥有者中识别、甄选和获取一切有利于其自身存续发展的、有针对性的资源组织与管理活动。为了提升人机交互效力和增加不利事件应对能力，项目团队需要利用资源行动机制、机器学习与自我迭代机制精准甄选关键资源与有效组织既有资源，才能增强不确定性的响应能力、不利事件冲击的恢复速度[22]。在项目人机团队面临 VUCA 场景时，人机团队不仅能够保存当前拥有的可用资源，也能够通过人机交互获取新的关键性资源，进而增强人机团队应对不利事件冲击的响应能力和恢复能力。这也说明资源编排对韧性提升具有重要作用，即人机团队通过人机交互获取、整合和利用既有或者潜在掌控的关键资源能够促进项目韧性的提升。

基于此，提出以下研究假设：

人机交互通过资源编排的中介作用,对项目韧性产生正向的间接影响(H2)。

(三)知识势差的调节作用

依据知识基础观理论,知识是企业应对外部变化、提升环境适应能力和创新竞争优势的核心资源[38-39]。知识势差是组织寻求合作以获得异质性新资源的重要动因和必要条件[40-41]。知识势差主要关注的是不同知识主体之间的知识位势的差距,而知识位势是指知识主体因为拥有一定深度和广度的知识而具有能量的状态,同时也表明了知识主体在组织中所处的地位[31-32]。各个知识主体在某些领域、行业或专业上的知识广度、知识深度存在差别,知识主体之间所拥有的知识种类、范围差别越大,知识势差越大[42]。不同主体所拥有或掌握的知识资源在结构、数量、类型等维度上存在差异,这种差异产生了不同的知识位势,即存在知识势差[43]。知识位势相对较高的团队成员,其对外发生知识资源输出或转移行为的可能性就越大;知识位势相对较低的团队成员为了自身资源结构优化与项目执行顺利,其知识获取动机可能会促进外部学习行为。同时,较高的知识势差能够有效降低人机系统中智能机器与人类成员之间的知识资源同质化,有助于增强人机团队有针对性地进行资源构建与组合、资源适配或结构优化,从而促进人机协同的技术优势发挥和提升人机团队知识资源编排能力。

基于此,提出以下研究假设:

知识势差在人机交互与资源编排之间起正向调节作用(H3);

人机交互与项目韧性之间的中介关系受到知识势差的调节。当知识势差出现时,人机团队资源编排能力的中介作用越强(H4)。

(四)人机信任的调节作用

信任是人机交互中非常重要的问题之一,更是培育有效人机伙伴关系和提升人机团队应对不确定性能力的关键[22,44]。人机团队成员之间的信任感会影响人机交互的效果及能否实现智能增强,而过度信任和信任不足也会导致人机交互可靠性降低和人机团队绩效恶化[18,45]。随着数智技术不断全方位渗透到劳动作业过程中,在带来生产生活方式和项目治理方式变革的同时,其自身固有的不确定性、脆弱性和恐怖谷效应也使得人类工作者对其采纳抱有怀疑的态度。例如,人类对适度拟人化的机器人能产生情绪信任,进而引起共情体验[46]。相比于机器人的外在属性,性能相关因素影响人们对机器人的认知信任感会更持续[18],人机协同情境下个人对机器算法是否信任并采纳取决于算法设计的透明度和可解释性及算法能否帮助个人做出更好的决策[7]。鉴于智能决策系统不透明的内部功能和结构,其如何根据知识作出决策的过程体现出明显的不确定性和复杂性,在一定程度上很容易造成员工的认知模糊[18,45]。此外,为了使人机团队完成既定目标,人类工作者必须相信机器人的行为可靠性并会维护团队成员的利益,人工智能的安全行为边界增加了人类对人工智能行为的信任感[44],进而影响人机交互的项目韧性增强效应。

基于此,提出以下研究假设:

人机信任在人机交互与项目韧性之间起到正向调节作用(H5)。

本文研究逻辑框架如图1所示。

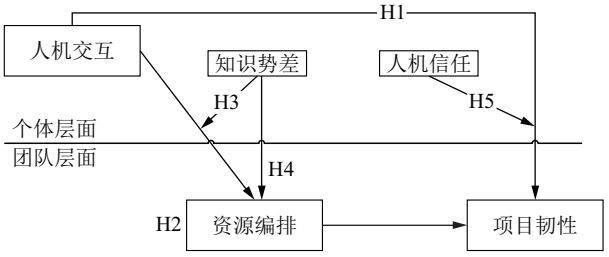


图1 逻辑框架

三、研究设计

(一)研究样本与数据收集

采用问卷调查的方式获取数据,样本来自国内采用智慧工地平台的工程项目,并且该项目被所属区域的省级政府主管部门评为省级“智慧工地示范项目”或省级“智能建造试点项目”。为了保障问卷科学性与合理性,采用德尔菲方法,将初始问卷发送给清华大学、同济大学、东南大学、天津大学、华中科技大学等机构的相关专家学者进行咨询,根据其建议进行问卷优化,并形成最终问卷。每一个调查项目的基本信息从各个省政府主管

部门的官方网站获取。从 2024 年 3 月开始，利用线上线下相结合的方式对 452 个智慧项目团队开展问卷调查。剔除无效问卷后，最终回收有效问卷 369 个项目团队的数据，回收率达到 81.64%。

（二）测量工具

1. 人机交互（*HRI*）

采用 Parasuraman 等[47]提出的人机交互测量模型，该变量一共包括 4 个测量题项，如“人机交互中，您的工程作业中智能系统自主识别、获取和记录数据的程度是多少”等，每题分为 10 个等级，数值越高，人机交互水平越高，其 Cronbach's α 系数为 0.858。

2. 项目韧性（*PR*）

项目团队对项目韧性提升具有关键作用[11-12]。从项目团队视角，参考 Piperca 和 Floricel[11]、Pavez 等[12]的研究成果设计项目韧性的测量题项。例如，“在人机团队的积极协作下，项目在面临不利事件冲击时具有快速的响应能力和恢复能力”等 4 个题项，其 Cronbach's α 系数为 0.864。

3. 资源编排（*RO*）

借鉴 Wang 等[48]、陈冲等[30]开发的测量量表，采用 3 个题项，具体为“项目人机团队有能力识别并吸纳项目顺利实施所需的知识资源”“项目人机团队能够较好地整合项目顺利实施所需的有形资源与无形资源”“项目人机团队能够结合项目实际情况充分利用所掌控的各类资源”，其 Cronbach's α 系数为 0.840。

4. 知识势差（*KPD*）

借鉴戴勇和林振阳[42]、辛冲等[43]的研究，设计 4 个题项进行测量，如“与人工智能体对信息获取的渠道种类的差距”等，其 Cronbach's α 系数为 0.850。

5. 人机信任（*HRT*）

综合 Hancock 等[44]、Kaplan 等[45]的研究成果编制共计 6 个测量题项，如“人工智能系统能够很好地发挥其角色作用”“智能系统能够对工程问题做出快速、专业的响应”，其 Cronbach's α 系数为 0.866。

四、实证检验

（一）共同方法偏差检验

采用 Harman 单因子检验方法进行共同方法偏差的检验。根据所有变量测量题项的探索性因子分析结果可知，采用未经旋转的主成分因子分析，第一个因子解释的变异值为 23.624%（最大因子方差解释度小于 40%），累积总方差解释率为 60.249%，说明其样本数据不存在严重的共同方法偏差。

（二）信度和效度检验

运用 SPSS26.0 软件对样本进行信度和效度检验，经计算人机交互、项目韧性、资源编排、人机信任和知识势差的 Cronbach's α 系数均大于 0.7，*KMO* 值均大于 0.65，说明样本具有足够的可信度。考虑到解释变量间可能存在相关性，通过方差膨胀因子法（VIF）检验多重共线性问题。结果显示，各变量的 *VIF* 最大值为 2.096，平均 *VIF* 为 1.818，小于上限 10，表明该模型不存在多重共线性问题。另外，为了检验研究量表的区分效度，采用 Amos 26.0 软件进行验证性因子分析，计算结果表明人机交互、项目韧性、资源编排、知识势差和人机信任五因子指标结果为近似误差均方根（*RMSEA*）= 0.069，标准卡方值（χ^2/df）= 2.743，近似拟合指数（*CFI*）= 0.924，塔克-刘易斯指数（*TLI*）= 0.912，表明五个变量具有良好的区分效度。

（三）描述性统计分析

采用 SPSS26.0 软件进行数据分析，人机交互、项目韧性、资源编排、人机信任和知识势差等变量的均值、标准差和 Pearson 相关系数的描述性统计结果见表 1。人机交互与项目韧性（$r=0.671$，$p<0.01$）、资源编排（$r=0.557$，$p<0.01$）、知识势差（$r=0.627$，$p<0.01$）、人机信任（$r=0.360$，$p<0.01$）均显著相关，资源编排与项目韧性（$r=0.638$，$p<0.01$）显著相关，知识势差与项目韧性（$r=0.556$，$p<0.01$）之间存在正相关关系，人机信任与项目韧性（$r=0.480$，$p<0.01$）之间存在正相关关系。这些结果表明在共线性问题上各变量不存在严重的问题，与本文研究的理论假设基本相符。由于这些变量之间的关系是简单的二阶关系，并不能完全证明理论假设的准确性，需进一步对回归模型逐层分析。

表 1　描述性统计分析结果

变量	均值	标准差	*HRI*	*PR*	*RO*	*KPD*	*HRT*
团队领导	0.530	0.500					
年限	1.860	0.817					
HRI	8.337	1.947	1.000				
PR	3.6402	1.013	0.671***	1.000			
RO	3.510	1.135	0.557***	0.638***	1.000		
KPD	3.686	1.084	0.627***	0.556***	0.562***	1.000	
HRT	3.080	1.054	0.360***	0.480***	0.508***	0.537***	1.000

注：***、**、* 分别表示 1%、5%、10%的显著性水平。

（四）主效应检验和中介作用检验

在表 2 中，通过模型 1 的结果可知，团队成员的团队特征（团队领导 L、团队存续年限 Y）是影响项目韧性的因素。在模型 1 的回归方程里引入解释变量人机交互，得到模型 2。通过模型 2（$\beta=0.228$，$p<0.01$）可知，人机交互直接正向影响项目韧性，达到统计显著水平，R^2 的可解释变异量值为 0.509，假设 H1 验证通过。这也进一步表明在人机交互过程中，人类和智能机器人在互惠互利的关系中一起工作，发挥各自优势。这种人性化软技能与机器人的程序化硬技能的高频交互过程有利于项目韧性的增强。研究结论支持了 Fu 等[21]、张志学等[7]在人机交互增强机制研究成果。

通过模型 4 可知，人机交互提高了团队的资源编排水平，R^2 的可解释变异量值为 0.398。通过模型 5 可知，资源编排能力有助于促进项目韧性，R^2 的可解释变异量值为 0.595。通过模型 6 可知，当引入中介变量资源编排之后，人机交互对项目韧性的影响依然显著，资源编排起到部分中介作用（0.212<0.228）。此外，为进一步检验上述中介效应在路径中是否具有显著的可靠性，研究借助 SPSS26.0 软件对 369 个项目团队有效问卷数据进行 Bootstrap 95%（重复采样 5000 次）分析，Bootstrap 置信区间的上、下限均不包含 0（表 3），假设 H2 得到支持。

表 2　层次回归分析结果

变量	*PR*	*PR*	*RO*	*RO*	*PR*	*PR*	*RO*	*PR*
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
L	0.124***	−0.061	0.222*	0.215**	0.043	−0.106	0.084	−0.097
Y	0.643***	0.627***	0.410***	0.410*	0.495**	0.540**	0.270***	0.523**
HRI		0.228***		0.212***		0.183***	0.245**	0.242***
RO					0.361**	0.212***		
KPD							0.289***	
HRT								0.129***
HRI×KPD							0.114***	
HRI×HRT								0.065***
R^2	0.509	0.636	0.306	0.398	0.595	0.670	0.477	0.665
F	189.345**	212.866***	81.994**	80.324**	181.249***	184.923**	66.189***	144.158**

注：***、**、* 分别表示 1%、5%、10%的显著性水平。

表 3　资源编排的中介效应检验结果

路径		效应值（Effect）	标准误差（BootSE）	95%置信区间（95%CI）		*P*	结论
				下限	上限		
HRI→RO→PR	直接效应	0.183	0.024	0.138	0.229	0.000	部分中介作用
	间接效应	0.045	0.012	0.024	0.071	0.000	
	总效应	0.228	0.026	0.177	0.279	0.000	

（五）调节效应检验与分析

为了进一步明确调节效应的作用方向和大小，研究以均值加减一个标准差为基准划分知识势差和人机信任的高低水平，有关调节效应水平如图 2 和图 3 所示。为了消除共线性，将解释变量和调节变量分别进行

中心化处理。

在表 2 的模型 7 中，人机交互与知识势差的交互项的系数为 0.114，在 1%的置信水平上显著，表明知识势差在人机交互对资源编排水平的影响中起到正向调节作用，假设 H3 得到初步验证。进一步的知识势差调节作用分析结果显示（图 2），知识势差越大，人机交互对资源编排的正向影响就越强，假设 H3 得到有效验证。这表明人类主体与智能体之间的知识结构与类型差异越大，越有利于关键知识资源在人机团队成员之间的转移、互动学习与反馈，而知识势差作为人机交互的重要助推因素，在一定程度上增强人机团队处置不利事件的能力，这一结果也与钱悦等[38]、Onososen 和 Musonda[22]的研究结果互相支持。

在表 2 的模型 8 中，人机交互与人机信任的交互项的系数为 0.065，在 1%的水平上显著。图 3 描绘了在不同的人机信任水平下人机交互对项目韧性影响的差异，随着人机信任的提高，人机交互对项目韧性的正向影响作用逐渐升高，即人机交互对项目韧性的直接效应受到人机信任的正向调节作用，假设 H4 成立。这反映人工智能系统的透明度向人类工作者清楚地表达人工智能系统的可靠性程度，有利于建立人类工作者对人工智能决策结果的信任感并实现人机协同决策智能增强。这与 Raisch 和 Krakowski[27]、张志学等[7]的研究结果一致。

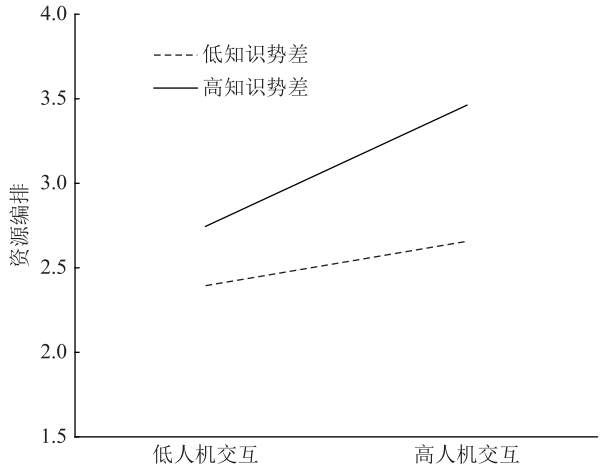


图 2　知识势差的调节作用

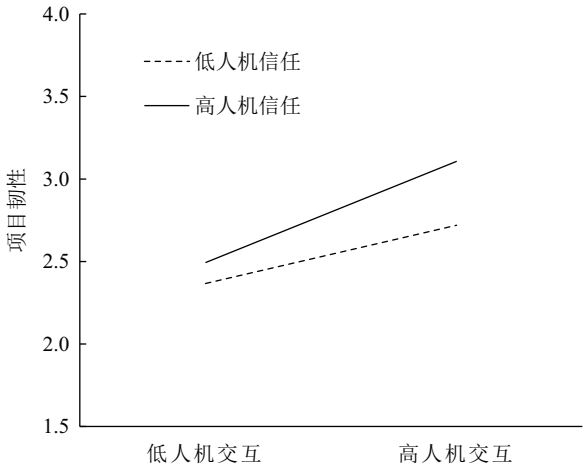


图 3　人机信任的调节作用

（六）被调节的中介效应检验

为了验证有调节的中介效应，参考温忠麟和刘红云[49]的有调节的中介效应检验方法，借助 process 插件通过 Bootstrap 方法进行检验。检验采用 95%的置信区间，调节变量知识势差通过均值加减一个标准差划分高水平和低水平（表 4）。在低水平知识势差下，“人机交互→资源编排→项目韧性”之间的间接效应显著，效应值为 0.122，置信区间为[0.061，0.182]，不包含 0；在高水平知识势差下，“人机交互→资源编排→项目韧性”之间的间接效应依旧显著，效应值为 0.368，置信区间为[0.261，0.475]，不包含 0。同时，高水平知识势差与低水平知识势差的组间差异值满足显著性要求，其置信区间为[0.171，0.318]，不包含 0。此外，被调节的中介效应判定指标 *Index* 为 0.024，置信区间为[0.010，0.041]，不包含 0，进一步表明被调节的中介效应显著。基于此，可以判断知识势差对资源编排在人机交互与项目韧性之间的中介效应具有显著调节作用，即被调节的中介效应假设 H4 成立。

表 4　被调节的中介效应检验

知识势差	调节的间接效应				被调节的中介效应			
	β	BootSE	BootILCI	BootULCI	*Index*	BootSE	BootILCI	BootULCI
低水平（-1-SD）	0.122	0.031	0.061	0.182	0.024	0.0082	0.010	0.041
组间差异值	0.245	0.037	0.171	0.318				
高水平（+1+SD）	0.368	0.055	0.261	0.475				

注：BootILCI 为置信区间下限，BootULCI 为置信区间上限。

五、研究结论与管理启示

(一)研究结论

本文研究在工业5.0背景下,基于资源编排理论、知识基础观和动态能力理论,从知识与能力视角探究人机交互与项目韧性的作用机制,并在此基础上分析了资源编排、人机信任与知识势差的影响路径。研究结果表明:①在项目情境中,人机交互对项目韧性存在显著的正向影响。这表明人类智慧与智能机器的协同合作有助于项目团队应对不确定冲击和处置不利事件的负面效应,进一步提升项目团队在受到不利事件冲击后快速响应与恢复。②资源编排在人机交互与项目韧性的关系中发挥积极的中介作用。③知识势差正向调节人机交互与资源编排关系之间的直接作用,即当知识势差处于较高水平时,会增强人机交互对资源编排的促进作用。④人机交互对项目韧性的直接效应也受到人机信任的正向调节作用,表明随着人工智能的自主性加强,人类工作者会对人工智能在决策过程的科学性和合理性持有信任态度,从而有利于人机协同决策的实施和项目在不利事件冲击中快速恢复。

(二)理论意义

首先,从项目层面深入探究人机交互对项目韧性的影响机制,考查工程项目场景下人机交互对项目韧性提升行为的正向影响,拓展人机交互对项目韧性影响的研究范围。研究小组发现,组织可以通过多种方式激发人类与人工智能协作的意愿,将人工智能作为决策主体纳入组织决策过程,与人类进行有效的信息交互、任务设计和分配。例如,项目经理应适当增加员工工作资源,创新人机分工模式,并提供组织支持。研究还发现,组织应该控制工程项目中团队互动、过程和协作行为的理论边界,以获得积极的后续效应。例如,当人工智能团队处于成长期或转型期时,组织内的资源相对稀缺,这可能会增加员工的工作不安全感和威胁感。在此背景下,项目经理应该通过开发新的方法来形成更高质量的人机协同关系,通过持续的需求重构来提升项目韧性。

其次,从能力视角研究资源编排在人机交互对项目韧性影响机制中的中介作用。本文以资源编排理论为背景,采用任务属性和团队过程的双重视角,加强了对人机团队与项目韧性关系的研究。人机交互是项目韧性提升的重要因素,因此建议项目团队创造一种氛围,提高员工的创新水平,增加对异质创新资源的识别、甄选与组织管理。例如,组织可以鼓励和支持团队成员的创新行为,从而在组织内部形成共同的认知。这可以通过鼓励员工为组织文化做出贡献,设计动态的组织结构,促进团队学习和知识转移,激发人机团队的项目韧性创新能力。

再次,从知识观视角,揭示了知识势差在项目情境下人机交互对资源编排作用的正向调节作用。这意味着知识势差越高,团队成员就越愿意与智能机器互动和合作。然而,组织成员对智能技术的接受、适应和集成仍然是当前实践社区面临的基本管理挑战。因此,要打破员工可能面临的威胁,提高人机团队成员的资源编排能力。

最后,明晰了工业5.0背景下人机信任对人机交互与团队韧性作用关系之间的调节作用,阐释了不同信任水平下人机交互对项目团队韧性的作用。已有研究认为“人机信任是人类接受人工智能技术的前提和人机交互成功的基础”[52]。但是,对于人机信任在人机交互和团队韧性的作用机制中较少涉及,本文可以作为人机交互与项目韧性关系研究的重要补充,进一步指出了人机信任对人机交互和项目韧性的内在机理,助推了人机交互的项目韧性提升作用过程,为人机团队开展项目治理提供理论支持。

(三)实践启示

首先,在工业5.0背景与项目管理需求的驱动下,项目团队和人工智能技术的融合是一种必然趋势。通过实证分析,本文研究发现人机交互在工程项目情境下能够激发团队成员积极互动,促进团队绩效提升。这意味着组织应辩证地看待人机交互这一团队运作模式,并尽可能发挥其积极作用。一方面,组织可通过多种途径激发人类与AI合作意愿,将人工智能作为决策主体参与到组织决策过程中,与人类进行有效的信息交互、任务设计与分配。例如,项目管理者应适当增加员工可获得的工作资源、创新人机分工模式和提供组织支持等。另一方面,组织应对工程项目情境中的团队互动、团队过程和协同合作行为的理论边界进行

管控，培养项目韧性并利用其优势克服困境与提升危机响应能力，从而助推在工业 5.0 背景下项目人机交互的可持续。

其次，优化资源编排路径，提升异质性新资源转化能力。在项目执行中，团队成员可以利用人工智能技术识别并甄选有利于项目韧性提升的显性资源与隐性资源，并针对人机交互行为决策与不利事件管控提供精准化干预和韧性治理。同时，组织可通过对团队成员的创新行为进行鼓励和支持，形成组织内的共享认知并促成组织文化；结合社会交换理论与团队过程理论，当员工拥有自主性、任务认同、任务反馈、技能多样性，并获得组织支持和发展机会时，他们将以更高的敬业度作为回报，积极地进行自我创新能力提升。

最后，研究证实了工业 5.0 背景人机团队中知识势差与人机信任的重要作用，在较高知识势差情境下，团队成员在面临困境时会更多地对外寻求异质性新知识用于应对不利事件冲击，利用人工智能的知识数据搜寻与知识集成优势帮助人机团队有效地摆脱不确定性或不利事件带来的挑战与威胁。此外，在较低知识势差情境下，项目团队成员更有可能依靠个体经验与专家智慧应对外部不确定事件的消极影响，导致人机交互受阻甚至出现人工智能算法厌恶情绪。因此，管理者在组织内推广与引进 AI 技术时，不仅要根据项目情境管控 AI 技术的应用模式，还要加强对团队的科学管理，关注其与 AI 合作时的心理状态和信任程度，尽量避免员工对 AI 技术的过度依赖，增强员工知识获取能力以实现智能增强。

（四）研究不足与展望

首先，在研究过程中，样本数据来自项目人机团队成员对智能机器、人工智能平台等操作经历与主观判断，尽管样本数据的信度检验和效度检验均符合统计学要求，未来可以采用田野调查、自然实验或者案例研究等途径获取项目信息，进一步探究人机交互与项目韧性的作用机制。其次，受数据获取渠道的约束，本文采用调查问卷获取研究数据，未开展连续时间的人机交互过程跟踪探讨。最后，人机信任是动态的、双向的，未来研究可以通过更先进的多模态数据识别与分析技术研究人类与智能体的双向信任问题，从而深化人机交互对项目韧性的作用机制。另外，立足工业 5.0 背景，项目韧性无疑还受外部环境不确定性、场景类型等因素的影响，未来研究可以在这些方面进一步思考。

参考文献

[1] PAN Y, ZHANG L. Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends[J]. Automation in Construction, 2021, 122: 103517.

[2] IKUDAYISI A E, CHAN A P C, DARKO A, et al. Integrated practices in the architecture, engineering, and construction industry: Current scope and pathway towards industry 5.0[J]. Journal of Building Engineering, 2023, 73: 106788.

[3] 阮永平，白雅静，郑凯. 数智化时代管理者行为研究：框架构建与未来展望[J]. 科技进步与对策，2025，42(22)：150-160.

[4] CARMELI A, LEVI A, PECCEI R. Resilience and creative problem-solving capacities in project teams: A relational view[J]. International Journal of Project Management, 2021, 39 (5): 546-556.

[5] DUBEY R, GUNASEKARAN A, CHILDE S J, et al. Big data analytics and artificial intelligence pathway to operational performance under the effects of entrepreneurial orientation and environmental dynamism: A study of manufacturing organisations[J]. International Journal of Production Economics, 2020, 226: 107599.

[6] BANKINS S, OCAMPO A C, MARRONE M, et al. A multilevel review of artificial intelligence in organizations: Implications for organizational behavior research and practice[J]. Journal of Organizational Behavior, 2024, 45(2): 159-182.

[7] 张志学，华中生，谢小云. 数智时代人机协同的研究现状与未来方向[J]. 管理工程学报，2024，38(1)：1-13.

[8] JUMPER J, EVANS R, PRITZEL A, et al. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold[J]. Nature, 2021, 596: 583-589.

[9] 李晓曼，陈丽. 人机交互对工作创新行为的影响机制研究——来自智慧电厂的证据[J]. 外国经济与管理，2024，46(10)：105-120.

[10] 张宇婷，崔晗，陈嘉宇. 建筑业人机协作研究综述[J]. 土木与环境工程学报(中英文)，2025，47(5)：23-37.

[11] PIPERCA S, FLORICEL S. Understanding project resilience: Designed, cultivated or emergent?[J]. International Journal of Project Management, 2023, 41: 102453.

[12] PAVEZ I, GOMEZ H, LAULIE L, et al. Project team resilience: The effect of group potency and interpersonal trust[J]. International Journal of Project Management, 2021, 39(6): 697-708.

[13] LIU J, LUO H, WU D. Human-robot collaboration in construction: Robot design, perception and Interaction, and task allocation and execution [J]. Advanced Engineering Informatics, 2025, 65: 103109.

[14] WANG W, GAO G, AGARWAL R. Friend or foe? Teaming between artificial intelligence and workers with variation in experience[J]. Management Science, 2024, 70(9): 5753-5775.

[15] RAISCH S, FOMINA K. Combining human and artificial intelligence: Hybrid problem-solving in organizations[J/OL]. Academy of Management Review, 2024[2024-10-16]. https://doi.org/10.5465/amr.2021.0421.
[16] KRAKOWSKI S, HAFTOR D, LUGER J, et al. Human centered artificial intelligence: A field experiment[J/OL]. Management Science, 2025[2025-08-26]. https://doi.org/10.1287/mnsc.2022.03849.
[17] 许晖, 王泽鹏, 杨金东. 从人机冲突走向人机融合: 知识编排视角下制造型企业的人机关系重塑[J]. 中国工业经济, 2024(4): 170-188.
[18] EMAMINEJAD N, AKHAVIAN R. Trustworthy AI and robotics: Implications for the AEC industry[J]. Automation in Construction, 2022, 139: 104298.
[19] KIM Y, KIM S, CHEN Y, et al. Understanding human-robot proxemic norms in construction: How do humans navigate around robots?[J]. Automation in Construction, 2024, 164: 105455.
[20] WU M, LIN J, ZHANG X. How human-robot collaboration impacts construction productivity: An agent-based multi-fidelity modeling approach[J]. Advanced Engineering Informatics, 2022, 52: 101589.
[21] FU Y, CHEN J, LU W. Human-robot collaboration for modular construction manufacturing: Review of academic research[J]. Automation in Construction, 2024, 158: 105196.
[22] ONOSOSEN A, MUSONDA I. Research focus for construction robotics and human-robot teams towards resilience in construction: Scientometric review[J]. Journal of Engineering, Design and Technology, 2023, 21(2): 502-526.
[23] RODRIGUES P, SINGH R, OYTUN M, et al. A multidimensional taxonomy for human-robot interaction in construction[J]. Automation in Construction, 2023, 150: 104845.
[24] BALASUBRAMANIAN N, YE Y, XU M. Substituting human decision-making with machine learning: Implications for organizational learning[J]. Academy of Management Review, 2022, 47: 448-465.
[25] 耿晓伟, 刘超, 苏黎, 等. 人机合作使人更冒险: 主体责任感的中介作用[J]. 心理学报, 2025, 57(11): 1885-1900.
[26] 罗仕鉴, 于慧伶, 张景森, 等. 基于人智团队智能体协同进化的群智创新设计方法[J]. 计算机集成制造系统, 2025, 31(3): 711-720.
[27] RAISCH S, KRAKOWSKI S. Artificial intelligence and management: The automation-augmentation paradox[J]. Academy of Management Review, 2021, 46(1): 192-210.
[28] 孙剑, 阳友康, 岳李圣飒, 等. 考虑人机信任匹配的人机协同控制策略[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2024, 52(6): 838-845.
[29] FEY S, KOCK A. Meeting challenges with resilience-How innovation projects deal with adversity[J]. International Journal of Project Management, 2022, 40(8): 941-950.
[30] 陈冲, 杨自伟, 王贝贝, 等. 坚韧型领导: 多维度结构、测量与组织韧性影响验证[J]. 管理科学, 2023, 36(3): 51-65.
[31] ENSIGN P C, LIN C, CHREIM S, et al. Proximity, knowledge transfer, and innovation in technology-based mergers and acquisitions[J]. International Journal of Technology Management, 2014, 66(1): 1-31.
[32] 康鑫, 刘美芯. 技术创新网络分裂断层、知识权力与创新独占性——知识势差的调节作用[J]. 科技进步与对策, 2021, 38(8): 9-15.
[33] LIU C, YIN B. Affective foundations in AI-human interactions: Insights from evolutionary continuity and interspecies communications[J]. Computers in Human Behavior, 2024, 161: 108406.
[34] LIANG C, WANG X, KAMAT V, et al. Human-robot collaboration in construction: Classification and research trends[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2021, 147(10): 03121006.
[35] 何静. 人机交互中的"交互": 信息协同还是相互规定?[J]. 浙江学刊, 2025(1): 57-64.
[36] SIRMON D G, HITT M A, IRELAND R D, et al. Resource orchestration to create competitive advantage: Breadth, depth, and life cycle effects[J]. Journal of Management, 2011, 37(5): 1390-1412.
[37] 谢卫红, 林漫, 郑迪文, 等. 人工智能技术如何促进制造企业转型升级? ——基于数据要素与内部控制的链式中介作用[J]. 技术经济, 2025, 44(4): 72-88.
[38] 钱悦, 温雅, 孙亚程. 乌卡环境下如何提升组织韧性——基于组织学习的视角[J]. 南开管理评论, 2024, 27(2): 38-50.
[39] BARLEY W C, TREEM J W, KUHN T. Valuing multiple trajectories of knowledge: A critical review and agenda for knowledge management research[J]. Academy of Management Annals, 2018, 12(1): 278-317.
[40] 肖昊宇, 郭鹏. 考虑知识势差的跨组织项目合作知识共享演化博弈研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2023, 44(9): 132-151.
[41] 米捷, 郭彬, 陈怀超, 等. 创新生态系统内的知识势差与知识流动机制[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2020, 22(6): 78-87.
[42] 戴勇, 林振阳. 产学研合作的知识势差与知识产权风险研究[J]. 科研管理, 2018, 39(2): 75-85.
[43] 辛冲, 陈永佳, 陈海峰. 创新生态系统中心企业的互动式/非互动式知识搜寻与价值共创[J]. 研究与发展管理, 2023, 35(5): 72-84.
[44] HANCOCK P, BILLINGS D, SCHAEFER K, et al. A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction[J]. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 2011, 53(5): 517-527.
[45] KAPLAN A, KESSLER T, BRILL J, et al. Trust in artificial intelligence: Meta-analytic findings[J]. Human Factors: The Journal of Human Factors and Ergonomics Society, 2023, 65(2): 337-359.

[46] 吴俊，张迪，刘涛，等. 人类对人工智能信任的接受度及脑认知机制研究：实证研究与神经科学实验的元分析[J]. 管理工程学报，2024，38(1)：60-73.

[47] PARASURAMAN R，SHERIDAN T B，WICKENS C D. A model for types and levels of human interaction with automation[J]. IEEE Transactions on Systems，Man，and Cybernetics，Part A. Systems and humans，2000，30(3)：286-297.

[48] WANG J R，XUE Y J，YANG J. Boundary-spanning search and firms' green innovation：The moderating role of resource orchestration capability[J]. Business Strategy and the Environment，2020，29(2)：361-374.

[49] 温忠麟，刘红云. 中介效应和调节效应方法及应用[M]. 北京：教育科学出版社，2020.

Research on the Mechanism Influences of Human-Robot Interaction on Project Resilience from the Knowledge and Capability Perspective in the Context of Industry 5.0

Shi Shiying[1]，Peng Xinxin[1]，Zhang Yongheng[2]，Zhao Fangfang[3]，Ye Xiaosu[4]

(1. Department of Engineering Management，Henan Polytechnic University，Jiaozuo 454003，China；2. School of Finance Economics，Henan Polytechnic University，Jiaozuo 454003，China；3. School of Economics and Management，China University of Geosciences，Wuhan 430074，China；4. School of Management Science and Real Estate，Chongqing University，Chongqing 400045，China)

Abstract：In the context of industry 5.0，the integration of artificial intelligence technology has an impact on the decision-making processes，resource allocation methods，behavioral habits of human-robot teams，and governance mechanisms during the construction and operation of projects. However，existing research has overlooked the mechanism of human-robot Interaction and project resilience in the project scenario. Based on the resource orchestration theory，knowledge and dynamic capability theory，a moderated mediation model was constructed to explore the influence mechanism of human-machine interaction on project resilience in the context of industry 5.0，which resource orchestration was set to the mediating variable，and knowledge potential difference and human-machine trust was set to the moderating variables. Data from 369 project samples were analyzed. The results indicate that human-machine interaction has a significant positive impact on project resilience，which human-machine trust plays a moderating role in this relationship. Resource orchestration serves as a mediator between human-machine interaction and project resilience，while knowledge potential difference positively moderates the mediating effect of resource orchestration in the relationship between human-machine interaction and project resilience. These findings contribute to understanding project teams' behavioral interactions and resilience responses in uncertain environments，while also providing insights for collaborative decision-making and resilience governance in human-machine project teams. These results enrich the research system of human-machine interaction and resilience in project contexts，providing micro-level evidence for enhancing project resilience through human-in-the-loop technologies under the industrial 5.0，while offering practical insights for project governance decision-makers.

Keywords：human-robot interaction；project resilience；knowledge potential difference；resource orchestration；human-robot trust；human-robot team