DOI 10.15302/J-SSCAE-2024.01.019

智能制造人机协同技术哲学知识论研究

瞿浩翔[1]，徐江[1*]，孙守迁[2]

（1. 同济大学设计创意学院，上海 200092；2. 浙江大学计算机科学与技术学院，杭州 310063）

摘要：智能制造是推动我国制造业转型升级、提升产业竞争力的系统工程，也是实施制造强国战略的关键环节，深入推进智能制造需要坚持思想创新，从哲学根源出发制定科学发展战略。本文采用现象学还原论和本体论的透视方法，从技术哲学视角出发，集成系统辩证逻辑推理，识别智能制造人机协同技术“难问题”，基于科学知识论的立场洞察相应哲学本质。研究发现，显性知识和隐性知识普遍存在于制造技术活动中，而长期以来的技术发展忽略了隐性知识的重要性；对人类主体存在不合理的“理性人”假设，忽视了其在制造系统中发挥的关键作用。为此，通过本体技术反思，提出了基于“物联网、知联网、身联网”的笛卡尔式智能制造技术发展路径，进而建立了基于“行为导向、指示表征、具身嵌入”的海德格尔式智能制造系统架构；由此溯源推因，构建了面向“难问题”消解的“数据驱动、功能表征、具身融合”三阶段递进发展的人机协同知识范式。为了高效推动新一代智能制造发展，可构建知识工程分类评估体系，应用理论认知模型来推动技术难题解决并制定产业扶持政策，建立多侧应用型智能制造公共服务平台以强化知识流通与整合应用。

关键词：智能制造；人机协同技术；技术哲学；知识论；知识范式

中图分类号：B0　　**文献标识码：**A

Philosophical Epistemological Study of Human–Machine Collaborative Technology in Intelligent Manufacturing

Qu Haoxiang[1], Xu Jiang[1*], Sun Shouqian[2]

(1. College of Design and Innovation, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. College of Computer Science and Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310063, China)

Abstract: Intelligent manufacturing is a systematic engineering and technological innovation that propels the transformation and upgrading of China’s manufacturing industry, enhancing industrial competitiveness. It is a pivotal element in strengthening the manufacturing sector of China. The comprehensive and profound advancement of intelligent manufacturing necessitates adherence to ideological innovation, requiring the formulation of a scientifically grounded development strategy from its philosophical roots. This paper, based on the phenomenological reductionism and ontological perspective method, starts from the perspective of the philosophy of technology, integrates systemic dialectical logical reasoning, investigates and identifies the “hard problems” of human–machine collaborative technology in intelligent manufacturing, and insightfully explores its philosophical essence from the standpoint of the philosophy of scientific epistemology. The research findings indicate that explicit knowledge and tacit knowledge are commonly

收稿日期：2023-11-29；**修回日期：**2023-12-13

通讯作者：[*]徐江，同济大学设计创意学院教授，研究方向为创新设计战略、设计工程与计算；E-mail: xujzju@163.com

资助项目：国家重点研发计划项目(2022YFB3303300)；中国工程院咨询项目“新兴产业发展战略研究 (2035)”(2018-ZD-12)，“数智时代江西加快创新设计产业发展策略研究”(2022-03JXZT-05)

本刊网址：www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

present in manufacturing technology activities. However, the long-standing technological development has overlooked the significance of tacit knowledge and has made an unreasonable assumption about the existence of "rational people" in human subjects, neglecting their crucial role in manufacturing systems. Therefore, this paper, through ontological reflection, proposes a Cartesian intelligent manufacturing technology development path based on the Internet of Things, Internet of Contents & Knowledge, and Internet of Bodies. Building upon this foundation, it establishes a Heideggerian intelligent manufacturing system architecture grounded in behavior-oriented, deictic representations, and embodied embedding. Through this traceable causal analysis, it constructs a three-stage progressive development knowledge paradigm for resolving the "hard problems" of human – machine collaborative technology. This paradigm is characterized by data-driven, functional representation, and embodied integration. To efficiently promote the development of the new-generation intelligent manufacturing, a knowledge engineering classification assessment system can be established. The application of theoretical cognitive models can drive the resolution of technological challenges and the formulation of industry support policies. Establishing a multi-faceted application-oriented intelligent manufacturing public service platform strengthens knowledge circulation and integrated application.

Keywords: intelligent manufacturing; human–machine collaborative technology; philosophy of technology; epistemology; knowledge paradigm

一、前言

在新一轮产业科技革命背景下，以人工智能（AI）、区块链、云计算、虚拟现实为代表的信息技术蓬勃发展，深刻影响了传统制造业的生产方式与组织结构[1]。在第四次工业革命浪潮中，推动智能制造发展成为各国制造业转型升级的首要目标，如以赛博物理系统（CPS）为基础的工业4.0计划（德国）、工业互联网概念和先进制造业国家战略（美国）、智能生产和机器人发展战略（日本）、新工业法国计划、英国工业2050战略[2~4]。面对全球制造转型的宝贵机遇，各国本享有平等发展机会，而率先实现智能制造革命性突破的国家将占据新一轮产业竞争战略高地。在我国，智能制造列入重大建设工程，旨在推动中国制造向中国"智"造转变[5]。面向高质量发展智能制造的战略需求，需要从根本哲学思想出发，洞察相关发展过程面临的核心难题本质，以前瞻把握智能制造未来的科学发展路径。

已有学术研究主要分为两个方面：从战略视角出发，立足宏观系统层面研究智能制造发展的科学范式[6]，研判未来产业发展方向[7,8]，编制技术路线图[9]；从技术视角出发，分析支撑智能制造突破的关键核心技术[10]，总结知识发现、知识库构建、实时感知、自主决策等技术的发展趋势[11]。在延续已有研究成果的理论指导和技术应用价值的基础上，本文力求作进一步深化，重点围绕人机和谐共生的智能制造远景目标，结合人机协同关键技术，探讨从哲学层面把握未来智能制造的发展方向。具体地，围绕制造强国发展战略，聚焦新一代智能制造人机协同技术"难问题"，从底层技术哲学出发剖析其知识论本质，集成现象学反思构建相应技术发展路径与智能制造系统架构；从人机协同视角提出知识论层面的新型知识范式和发展建议，以为我国智能制造高质量发展等研究提供参考。

二、智能制造的人机协同技术难题锚定

（一）基于人–信息–物理系统的智能制造

智能制造概念源于1978年[12]，是人类长期技术创新积累的必然结果，相应内涵随着信息技术和制造业的发展而不断变化[6]。目前的普遍观点是：智能制造是一项综合技术创新系统工程，将互联网、设备联网、云计算等信息技术应用于生产制造活动，驱动传统制造业转型升级，提高企业生产效率、产品服务质量与综合竞争力。

智能制造系统构成的本质是人–信息–物理系统（HCPS），这一概念在2013年被提出[13,14]。我国学者针对HCPS系统进行了详细研究与系统阐释[15]，认为在制造系统的进化历程中"人"作为关键要素是不可或缺的。从人类最早制造和使用工具开始，人–物理系统（HPS）一直是制造系统的底层逻辑支撑，此时人与物紧密贴合，人既是工具的创造者也是工具的使用者，物理工具有效拓延了人体的机能范畴，创造了辉煌的物质文明成就。这种状况一直从原始社会延续到第二次工业革命，在电气动力的加持下，传统意义上的机械工业文明达到顶峰。第三次工业革命以来，通过信息技术引入数字信息中介，依靠信息系统的计算、分析与控制来部分替代劳动者对机器的操控，由此形成智能制造所依赖

的HCPS系统。智能制造细分为三代基本范式：基于HCPS 1.0的“数字化制造”，基于HCPS 1.5的“互联网+制造”，基于HCPS 2.0的“新一代智能制造”。

（二）人机协同技术“难问题”

新一代智能制造范式得益于信息系统的群体性技术跃升，又以集成新一代AI技术为标志。相较于HCPS 1.5模式下的数字网络化技术，新一代AI具有更强的认知学习能力，可根据已有的知识举一反三、自主生成、灵活运用。通过新兴技术赋能，新一代智能制造能够更好地将人从复杂的脑力劳动中解放出来，由人从事更有价值的创新工作；进一步激发人类的智慧潜能，突出人在系统中的核心地位[16]。由此，通过人机协同的混合增强智能，真正实现人在系统回路中，推动人类社会向以人机和谐共生大系统为基准的智能社会迈进（见图1）。

人机和谐共生是新一代智能制造发展的最终目标，而人机协同是实现人机共生的核心技术保障、当前智能制造发展的关键突破口。一方面，当下的AI技术通过基于知识经验积累的无监督学习，已在某些规范领域取得巨大成功（如围棋），但其本质仍是依赖算力资源迭代实现的数量规模超越；在面对实际情境中的复杂性、不确定性问题时，人的中心作用依然突出[17]。另一方面，进入大数据时代后，海量且庞杂的数据使人难以在短时间内提炼有效信息，同时大规模的信息增量加严了合理决策的约束条件，因而人需要智能技术的支持以提高工作效率。为此，人机协同技术旨在实现人机优势互补，是构建人机混合增强智能系统的前提、推进新一代智能制造和工业4.0的关键[18]。

以自动驾驶车辆人机交互技术的等级划分为例，现阶段的人机协同技术仍处于初级阶段（L0~L2），新一代智能制造距离高级阶段的自主制造（L3~L5）仍有较大差距[19]。在当前的制造体系中，人机高效协同仍难以实现，这是因为：大部分的制造设备依赖外部预先编制的程序输入，仅能执行程度极为有限的无人作业；融合信息系统与物理系统的云端物联网（IoT）尚未建设完整，“随想随做”的共时态即时交互模式停留在概念阶段。为此，本研究提出

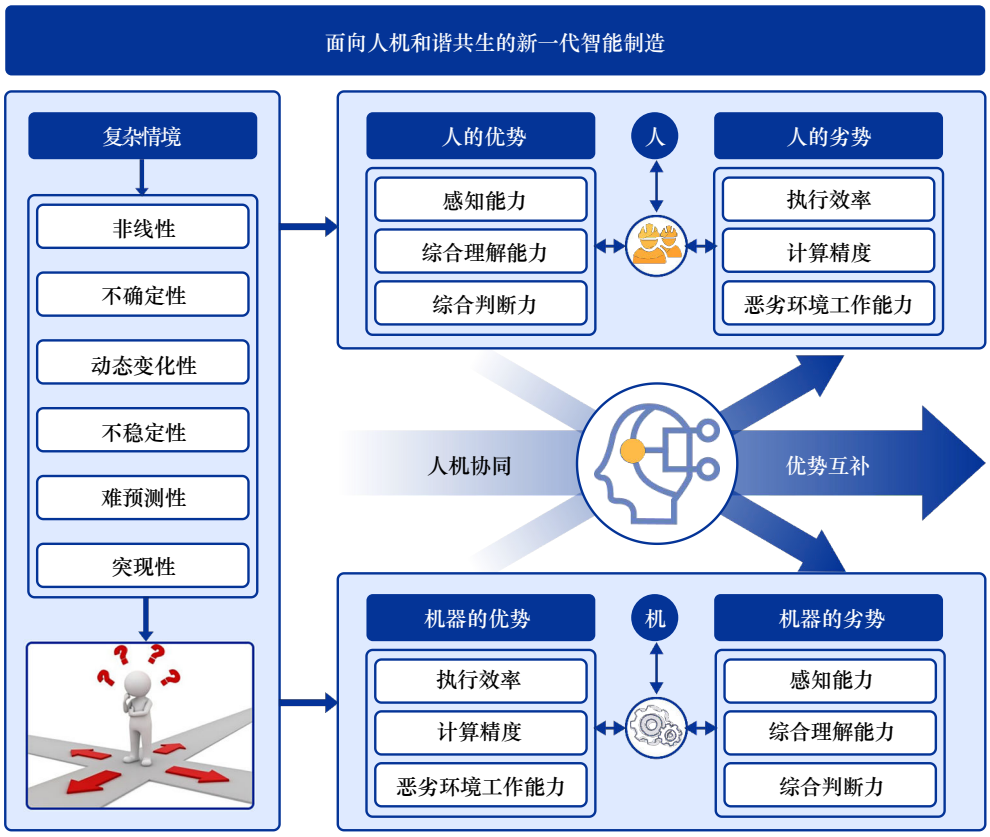

图1　基于人机优势互补的人机协同技术系统

人机协同技术中存在的“难问题”，分别从人、机器两方面展开分析，以从哲学层面深入探讨相关技术发展的内在困境（见图2）。

在人的方面，人机协同的困难主要体现为人类主体对机器的排斥。在传统哲学尤其是理性主义视域中，人通常被假定为绝对理性主体，这是由于笛卡尔身心二元的观念过度抬高理性的地位，致使抽象的逻辑思维被认为是认知建立的基础（即机械论式的科学认知观），进而衍生出绝对理性的主体观[20]。此时，人被默认为时间轴上的静态主体（即一个大型符号变量集合），人的行为是可解构、可计算表征的，如机械臂对肢体行为的仿真。然而，除去个体的思维范畴，人还具有感性的身体。以梅洛庞蒂为代表的现象学家注意到，身体在认知行为过程中具有不可替代的作用[21]，为认知提供了感性质料（包括情境知觉、对外意向、涌现经验等）。这部分内容无法简单地用理性思维符号化地诠释，但同样参与了认知与行为结构的构建过程。在现象学的观念中，人是时间域上的动态主体，存在非线性、非计算表征的部分。这是认知动力学大规模使用微分方程、混沌系统预测主体行为的原因[22]。在实际的人机交互过程中，机器有限的操作与规范往往不能满足人的非理性诉求，导致主体对机器的排斥；主体往往更喜欢动态情境下的交互式学习，以降低记忆的负荷。但在数控机床加工过程中，主体通常需要预先记忆静态格式化的编译程序规则，导致新的操作人员不适应加工程序编写，对编程产生心理排斥，很难快速形成操作能力。

在机器的方面，人机协同的困难主要体现为相关技术设计本身难以与人融合。在技术哲学的视域中，机器本质是人类实践的产物（即技术人工物），人类可以通过使用机器获得更强大的生存权能[23]，如手杖可以拓展人的知觉范畴，对盲人缺失的视知觉起到替代作用。在现代社会，人类通过宏/微观结合的技术、产品、服务系统集成化设计，驱动智能系统的动态资源优化配置，实现对外部环境更大程度的改造。此时，相关产品设计与技术研发是主体有意识的创造性活动，基本上严格遵循客观的科学规律和知识经验规范。从认知的角度出发，上述设计研发过程的本质是一种基于静态时间秩序的线性逻辑意识创造，虽然构建了包括预研、设计、技术研发、产品测试、售后服务在内的生产制造闭环流程，但是缺乏对人的复杂性、先导性等非线性特征的考虑。以数控机床为例，相关加工程序的设计通常难以充分考虑新人使用的可读性、记忆容量等问题，仍是严格遵守预定工序的加工步骤。再如现代设计理论中的“形式追随功能”等功能主义理念，本质都是线性逻辑思维框架的产物，无形中拉大了产品、技术与用户的距离。

综上，目前的机器智能技术无法完全通达人类的认知行为机制，是在哲学层面凝练的人机协同技术“难问题”，其成因涉及人类主体、机器主体两

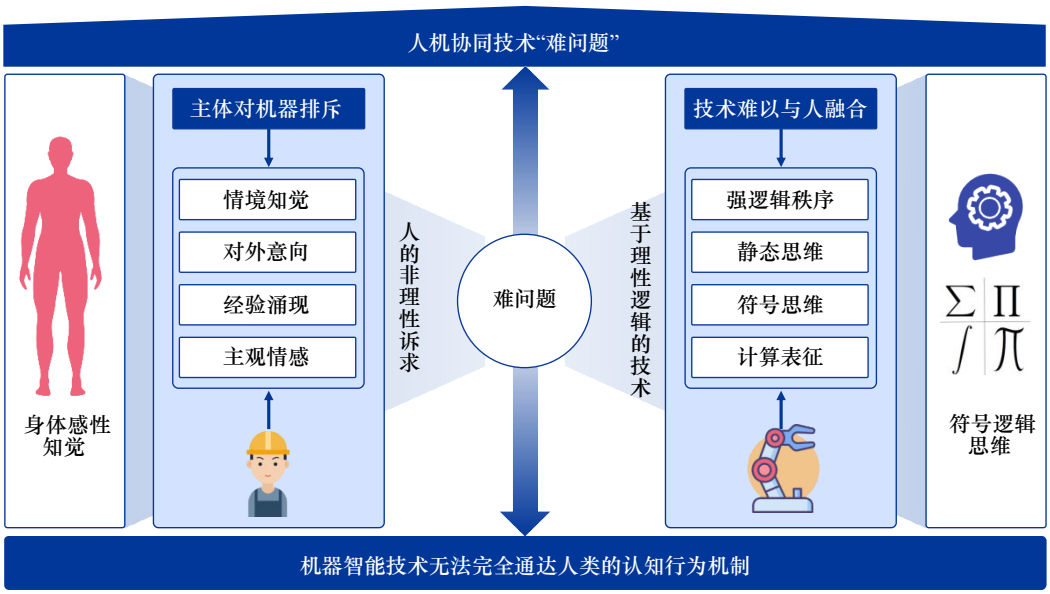

图2　人机协同技术“难问题”

方面，集中在人类认知与行为过程中非计算表征的感受性质部分，导致了主体对机器的排斥。同时，机器的设计研发往往忽略了上述人类感受性质的问题，导致相关产品与技术仅停留在基于线性逻辑思维的仿真模拟层面。

三、人机协同技术哲学“难问题”的知识论还原

新一代智能制造的本质是先进制造知识工程[6]，通过新一代AI技术赋能，使制造知识的生成、运用、传播发生根本性变化，实现各流程模块知识间的协同进化，进一步推动相关科学技术进步。从工程知识论的角度看，制造活动本质上是一种工程造物实践，将观念中的人工物（产品）经过决策、设计、实施进而实体化，核心在于工程知识的构建（即人工物是什么）、工程知识的运用（即如何构建人工物）[24]。人机协同技术“难问题”研究，关键在于明确和分析底层任务结构单元，创建制造知识分类与知识框架。为此，本研究首先从技术史角度对制造知识的承载主体“人”进行认知定位更新，进而从人机协同视角出发挖掘不同知识类型及其关联层次结构。

（一）人类主体定位更新

从技术史的角度看，现代制造的发展历程呈现出主体地位下沉的趋向。第一次工业革命建立在工程师对传统经验总结与不断试错的基础上，代表性的技术突破是瓦特改良蒸汽机；此时人在制造系统中扮演着极为重要的角色，制造活动的进行高度依赖人的手工操作，制造技术的发展高度依赖人的经验累积与传承。第二次工业革命更为强调科学研究的作用，原先依赖经验与大规模试错的方法显得不再经济，制造技术的突破开始依赖科学实验的结论与产业化应用，人类正式迈入“工业研究时代”；此时人的价值定位更多聚焦技术价值而非经验价值，经验的地位相比于逻辑推理显得薄弱。在第三次工业革命中，计算机智能技术使大规模知识生成成为可能，原先完全由人主导的研究工作甚至部分可以被计算机取代，导致人的地位被进一步削弱[25]。整体来看，工业革命的历史是以“无人化”为目标的技术史，当今“无人驾驶”“黑灯工厂”等概念的提出更加印证了这一技术概念的发展趋向。

上述工业发展历程映射出一种通过技术发展完全取代人类的乐观主义精神，其实质源于对人类主体的错误定位及认知。发明机器的初衷在于通过廉价的机器设备替代人类重复性劳动，以减少人力成本投入、解放生产力、获取更多的经济利益。这意味着机器的设计与制造技术研发需要以“人的功能替代”为目标，因而制造技术的发展史实际上是人类自身功能的模仿史，从最开始利用机器模仿人类的加工动作，到当今利用AI模仿人类智能，概莫能外。上述技术发展的思想前提是“理性人”假设，即强调主体的理性面，认为主体的行为目标在于实现自身利益的最大化。而制造的目的在于实现更高水平的自动化、无人化，以在尽可能节省成本的前提下为人类带来更多的物质资料。“理性人”假设最早见于《国富论》[26]，导致技术领域产生了一种错觉：只要穷尽主体意识中的智力规则并付诸于技术端的实现，就可以达到与人类完全等同的智能水平。对此，AI研究先驱者基于对“理性人”的批判提出了“有限理性”的思想[27]，认为应将不完全信息、知识限度等约束条件纳入决策的考虑中，进而提出了基于人机协同系统的非程序化管理决策模型[28]。可见，制造系统中以技术发展取代人类主体的思想是对主体定位的错误解读，保留制造系统中的人类主体并非是技术水平不成熟条件下的妥协，而是因为人是智能制造最终实现高级智能必须依赖的载体。以人为本的智能制造，不仅是让制造为人的生产生活需要服务，还认为人是构成高级智能体（人机共融体）不可或缺的系统要素[29,30]。

（二）“难问题”的哲学知识论诊断

主体的理性面、感性面作为一个统合整体共存于智能制造系统，在知识论层面则具体表现为显性知识、隐性知识。对知识进行显/隐性分类，捕捉到与传统依靠文本、公式、图形表达的显性知识不同的知识类型——隐性知识，即通过主体感/知觉与经验积累所掌握的前意识和非理性知识。隐性知识无法轻易通过语言文字传播，不满足序列化、结构化等线性集成条件，具有极高的私密性与个人性；多被称为“技术性知识”，与专业技能的掌握程度高度相关[31,32]。隐性知识作为具有人类认知机

制特征的背景知识，是所有知识建构的基础，相应结构特征包括整体性、非可化约性[33]。显性知识的获取过程需要以隐性知识为背景，因而有学者提出了“所有知识根本上是隐性知识”的论断[34]。此外，隐性知识本身也是技术的一部分，技术功能的实现必然包含了自主性的实践意图，在具体实施过程中必定是以隐性知识、隐性推理为基底的[32]，即主体需要依赖自身寓存的经验知识来开展技术实践活动。在制造领域，工人对技术的掌握同样高度依赖隐性知识，如传统车间中的工人通过漫长的实践积累，将零件加工的火候、工序、步骤等知识转化为自身的操作习惯，由此掌握加工过程中内涵的隐性知识，进而无意识、自然而然地进行加工操作。进一步地，专家系统的设计以及技术创新、技术转移都需要考虑隐性知识的存在，这一过程背后是大量实践、试错后积累的宝贵技术经验，在一定程度上构成企业专业技术水平和可靠性的保证，也是经验丰富的专家工人和维修技术人员极为重要的原因所在。

当前，智能制造系统的知识分为两类：作为本体技术的先进制造技术，作为赋能技术的AI技术。实施新一代智能制造知识工程，目标是从两方面分别深入并获取更高的技术知识突破与积累，同时顾及两方面的跨界融合，构筑完整的智能制造知识系统。然而，无论是先进制造技术还是AI技术，涉及的知识在本质上仍属于显性知识范畴，即一种基于符号表征操作的编码性知识，可以通过格式化的方式广泛传播，细分为制造知识管理系统、基于可视化表征的知识图谱；以上知识本身包含隐性知识的成分，如AI技术中的深度学习神经网络，其计算结果时常依赖操作者的经验性调整，但机器本身并未掌握这种隐性知识。机器只能依据外部输入命令进行形式化操作，相当于记忆某种指令规则而本身并不理解知识的内涵[35]。因此，在智能制造系统中，仅掌握部分显性知识的机器、具有完备知识能力的人类主体之间存在巨大的知识鸿沟，难以进行及时有效的沟通：人类的隐性知识无法快速地根据生产制造需求顺利地传递给机器，只能在显性知识模块集成后才能通过编译的手段录入，知识传递的时差效应、隐性知识的缺失都导致整体系统无法真正达到自主性的智能水平。

实现智能制造系统中人与机器间的优势互补，是人机协同技术的出发点，其哲学实质是基于人机协同的技术知识跨域融合。新一代智能制造装备具有自感应、自学习、自适应、自决策的智能技术特征[36]，要求智能机器与信息系统拥有掌握部分隐性知识的能力。就目前状态看，隐性知识的获取仍然与人类的身体作用强关联/绑定，为了实现跨域融合的新一代智能制造知识工程，需要人提供无法直接通过逻辑演绎得到的隐性知识，通过机器以及智能技术实现大规模数据采集及计算迭代，进而快速扩大显性知识的存储容量；通过交叠式仿真计算模拟、落地实践检验，进行知识内容的测度和更新，创建适用范围更广、完整程度更高的智能知识库。例如，基于专家系统的故障诊断知识依赖专家提供的“浅知识”，即以经验知识为代表的隐性知识；也需有明确科学原理支撑的“深知识”，即以功能结构为代表的显性知识；两类知识结合的智能混合型诊断系统，在实际应用中通常具有更好的诊断效力。

四、海德格尔式智能制造系统

智能制造人机协同技术“难问题”的破解首先需要从本源入手，即智能制造系统本身。传统的智能制造系统高度依赖笛卡尔式技术体系，以致忽略了人体的感/知觉在构建智能系统中的作用。本研究着重从技术哲学层面展开反思，提出融合笛卡尔式技术路径的海德格尔式智能制造系统（HIMS）发展方向。

（一）笛卡尔式智能制造技术路径

经典AI研究基于笛卡尔身心二元的立场，认为知识可以完全脱离身体而被主体充分认知与应用，具体表现为物理符号系统理论；也认为计算机与人类心智都属于物理符号系统、基于物理符号表征是实现智能的充分必要条件，因而计算机具有模仿人类智能的充分依据[37]。新一代AI技术研究基于联结主义对人脑生理结构的功能性模仿，主张建立大规模并行的分布式计算人工神经网络来模拟人类智能；相较于经典AI具有更强大的计算适应性，但本身继续坚持离身的知识表征结构与符号计算方法，仍未脱离笛卡尔式AI范畴。

进入大数据时代后，人类掌握数据的规模空前

庞大，基于大数据驱动的深度学习已经成为AI研究的主流。通过对非结构化大数据的关联计算分析，可在短时间内获取更多的显性知识，从而加快知识更新速度与效率。深度学习已在计算机视觉、自然语言处理等方向取得了极大成功，广泛应用于智能制造中的系统建模、实时仿真、故障诊断等方向，增强了机器模型的自学习、自评估、自优化能力。可见，虽然笛卡尔式AI存在忽略情境、身体、隐性知识的缺陷，但长久以来的技术经验积累使其具有极高的科学技术与理论价值，仍然值得在智能制造技术发展过程中获得高度重视。相应地，本研究提出基于笛卡尔式智能制造的“数据–知识–身体”三阶升维技术路径，围绕IoT、知联网（IoCK）、身联网（IoB）3个依次升维的技术体系展开，据此高维映射数据、知识、身体的技术哲学结构内涵，阐明智能制造技术未来可行的发展方向。

1. 物联网技术

在三阶升维技术路径中，IoT技术是最为底层的基础架构，通过传感器技术、射频识别技术实现末端设备的数据联通，系统性扩大数据的采集范围与识别类型，建立大型工业数据库；采用大数据、云计算等分布式处理结构，对多源异构的信息数据进行多维特征提取与统计分析，降低数据管理成本与存储难度，实现后台控制系统的智能化识别、追踪、分析、管理。在数据分析、信息远程控制的基础上，通过机器与机器技术实现控制系统、终端设备间的通信，据此构建物品信息互联的智能制造网络。IoT技术的核心是数据资源处理，包括多源数据的访问、获取、存储、传输、整合、信息特征识别；通过数据化、信息化、格式化的方式对接算力资源，经由计算机智能强化制造系统全生命周期内的控制与管理，最终实现以数据为纽带的智慧协同、信息化与工业化融合。

2. 知联网技术

IoCK是智能制造系统在IoT数据挖掘基础上应用知识发现而构建的新型制造信息架构。原先完全依赖大数据驱动的制造服务网络存在信息传达效率低下、数据管理困难等问题，而膨胀的数据规模很大程度上降低了有效信息的密度，低层次的数据交互导致了决策建模的难度。IoCK技术旨在通过知识挖掘、知识分类技术，构建基于数据信息网络的知识平台[38]，精准识别刚/柔性知识；通过知识评价和管理技术，全面提升知识集成、系统层次结构的水平，进而将特定领域的知识深度嵌入工业信息网络，实现智能制造从数字制造向知识制造的转变。更进一步，面向操作端的知识可视化技术能够有效提升信息交互水平，降低操作员的决策难度，提升企业的运营效率。IoCK技术的核心是知识资源处理，将知识视为信息加工处理后的具象化表征，将晦涩难懂的数据信息转化为可辨识的知识，以利于管理者、决策者、用户理解问题，提高制造系统中人类综合判断的决策效力优势，推动智能制造向人本制造迈进。

3. 身联网技术

IoB是在IoT、IoCK的基础上，强化具身智能嵌入式设备与人类身体的结合，形成以身体为中轴的分布式技术网络系统。原先基于IoCK技术构建的知识体系仍以显性知识为主导，相应数据的采集、统计、分析仍是面向设备和产品等静态可监测对象，而对隐性知识的识别、挖掘、获取、存储、管理、应用尚不成熟。IoB通过新材料、嵌入式、感知识别等技术，增强可穿戴设备的环境适应性与感知识别能力，强化人体生理信息数据的采集、统计、分析；采用情感计算、模糊逻辑、混沌系统为代表的软计算技术，加强知识结构表征，在一定程度上开展对隐性知识的管理与应用，全面增强系统的信息自决策能力。最终，采取包括全浸入式体验、全息建模、虚拟现实、增强现实等技术在内的人机协同技术，构建人机和谐共生的智能制造模式。IoB技术的核心是以身体为基础的生理信息资源处理，通过具身智能容扩以感性经验为导向的隐性知识，形成“人在回路中”的系统布局，实质性增强智能制造系统的智能化水平。

（二）海德格尔式智能制造系统架构

现象学家分析经典AI的计算表征理论，揭示了其中默认的生物学假想、心理学假想、认识论假想、本体论假想；在逐一批判相应假想的基础上，指出相关研究中抱有的虚置前设：传统AI默认人脑是信息加工处理装置，人类知识可以完全被机器复制，忽略知识表征所依赖的背景知识（即隐性知识）[39]。有学者在此基础上提出AI技术“框架问题”，即如何使用一阶逻辑表征机器所处的真实情境[40]。为了实现真正的AI技术，仅靠建立规模庞大

的数据知识库是不够的，机器还需要掌握应对真实情境中复杂问题的能力。

有学者在吸收海德格尔生活世界哲学思想的基础上，提出了“海德格尔式人工智能”三阶段构想[41,42]。① 第一阶段是基于行为主义机器人的AI，让具有基础行为库的机器人在环境中自由运动，根据与情境的交互来自主作出反应，摆脱了原先依赖大规模符号计算表征输入的AI模式，实现机器与情境的运动耦合。目前的强化学习技术，尤其是自主智能体的研究较接近这一概念。② 第二阶段是基于上手编程状态的AI，运用“指示表征”方法构建程序，即面向处理对象功能角色的编程。相比行为主义机器人，指示表征将表征从对象本体“是什么”转移到“为什么”（即对象的动机），进一步减轻机器的工作负担，使之具有更强的情境适用性。③ 第三阶段是基于情境嵌入与具身延展认知的AI，将可穿戴设备与身体联结，在人机协同的基础上实现主体与情境间的实时交互[43]，使行为主体长期处于应用实践状态。

学者曾将技能掌握划分为新手、入门、生人、精通、专家5个阶段[44]。“海德格尔式人工智能”的目标是达到专家型的智能水平，实现人机高水平融合。从智能制造的视角看，此时的主体被完全纳入全制造服务周期中，相关的研发、生产、制造、销售、服务也可“无缝衔接”地贴合人的需求；可进一步减少智能制造系统对外部世界的参数化映射，将产品的用户体验端纳入系统的整体设计中，以达到各制造环节强动态配置条件下的松耦合状态，形成基于耗散结构的自组织式智能制造系统。为此，本研究在三阶升维技术路径的基础上提出HIMS架构设计（见图3），对应于“海德格尔式人工智能”将相应发展过程分为三阶段回路。HIMS架构的核心是物理人、虚拟人、实体机器、虚拟机器、环境五大要素，与物理链路、数据链路构成的动态交互式复杂网络，融入IoT、IoCK未来互联网支柱技术，最终基于嵌入式设备边缘计算汇聚成人机高水平协调的IoB智能技术系统。

1. 行为导向的智能制造系统

HIMS第一阶段是行为导向的智能制造系统（BoIMS）。此时，物理人和实体机器经由物理、数据两个链路交叠融合的方式组建单位智能体，再通过数据链路与虚拟人的交互联结来构建基于社会网络的稳态协调机制。众多的单位智能体在与环境实时交互的过程中系统化升维，形成具有自主行为特征的多智能体系统（MAS）。相较单位智能体“孤立应用”的不足，MAS通过多位协同、优势互补的分布式智能结构来强化制造系统的情境适应性与泛用性，弱化了对集中式设计、控制、优化的限制，增强了并行处理、分散控制、不确定性求解的能力，从而减轻各制造单元的运作负荷，建立兼顾自主性、反应性、自律性、社会性的制造竞争优势。基于AI强化学习、遗传算法等运算机制，MAS在与环境的运动交互过程中实现信息实时反馈，采用不断试错的概率搜索技术获得制造行为流程设计的最优解，从而持续优化网络制造体系，构建“人–机–环境–数据”四元融合的IoT技术支撑体系，强化智能制造系统的自适应和自学习能力。

2. 指示表征的智能制造系统

HIMS第二阶段是指示表征的智能制造系统（IMSoDR）。在第一阶段的基础上，基于虚拟网络的分布式计算技术进一步发展，云计算主导下的商业服务模式得到普及，以虚拟机器为核心的虚拟组织架构得以建立，显著减少企业经营的服务时间和成本。此时，原先基于物理实体的单位智能体演进出包括物理人、虚拟人、虚拟机器在内的虚拟智能体，通过面向多源异构数据的知识挖掘、萃取、蒸馏、集成等构建IoCK技术体系；将虚拟智能体深度嵌入社会性网络服务，建立基于数据、知识、服务的新型智能制造服务网络；原先以数据驱动为核心的智能制造逐步转向以知识驱动为核心的模式。相较行为导向的智能制造系统，虚拟机器起到功能指示表征的作用，实体机器不再需要通过物理空间的大规模试错来调整优化参数；算力资源的灵活分散配置，使虚拟机器承担起用户需求的功能模拟与仿真调参的任务，突出以功能计算为导向的制造重构，进而真正实现资源调度优化下的高效率敏捷制造。

3. 具身嵌入的智能制造系统

HIMS第三阶段是具身嵌入的智能制造系统（EEIMS）。相较第一、第二阶段，此时的物理人、虚拟人、实体机器、虚拟机器、环境，通过具身嵌入式智能传感设备与后端云计算平台实现数据融合，进而形成强耦合链接的闭合回路，基于高精

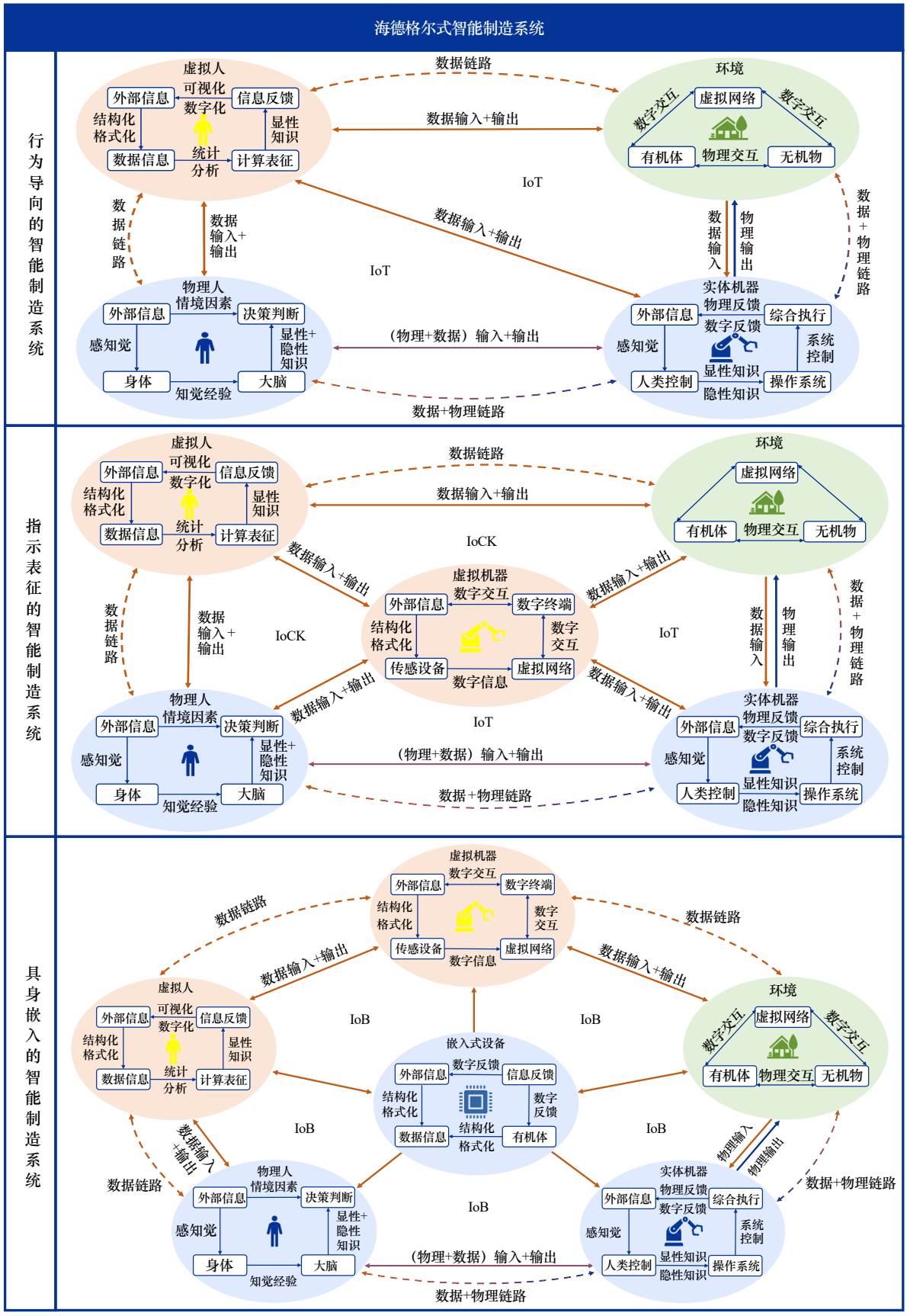

图3 HIMS架构示意图

度、高效率、高质量的数据传输，实现各类制造要素和资源的全方位、实时、一体化贯通。传统基于规则、模型、实例的知识推理技术应用取得突破性进展，在针对人体生理数据进行实时监控与反馈的基础上，大量隐性知识通过多特征的动态参数计算，多粒度、多层次的知识库比对而被系统智能识别。在位于嵌入式设备上的边缘计算介入下，虚拟智能体与实体机器结合，形成人机协同的混合自主智能系统；以物理人的身体为核心，深度融合原先的IoT、IoCK技术，围绕具身智能框架，开发基于嵌入式微控制器的拟真化人形机器人，构建软/硬件结合的订制式智能制造服务网络，形成以身体为核心的IoB系统技术架构。在此基础上，智能制造系统将有效结合用户的主观意图与感性经验导向，形成兼具显/隐性知识的表征模型与封装结构，建立真正意义上的完备知识工程；通过多维度、细粒度、高效率的知识重用，提供更加贴合用户身心需求的产品设计及售后服务。

五、基于人机协同知识范式构建的解决路径探索

（一）人机协同知识范式

本研究在讨论HIMS发展方向的基础上，再次回归技术哲学知识论的立场，提出人机协同技术“难问题”解决路径，以结合智能制造的不同发展阶段构建递进式发展的人机协同知识范式（见图4）。

1. 数据驱动知识范式

数据驱动知识范式是针对HIMS第一阶段的知识演化结构表征。在这一阶段，以数据为核心的知识流闭环是典型特征。通过IoT技术从情境中提取特征数据，建立多源数据库，采用知识抽取技术建立面向制造的基础知识库，据此完成知识获取与知识整合；再根据情境中的具体问题进行数字化筛选，集成具体知识以解决问题，完成知识应用。

根据SECI模型[45]，数据驱动知识范式主要涉及两种知识转换。① 知识整合化指将显性知识集聚为更加系统化和复杂化的显性知识的过程，细分为从系统外部吸收显性知识以组合、新的显性知识通过数据媒介在系统内部流通、系统内部进行处理与再加工以强化知识应用3个步骤。例如，大型计算机网络和大型数据库可以加速系统整合化的进程。② 知识内在化指将显性知识内化为隐性知识的过程，也是制造知识在系统内部的流通、共享、拓展、延伸、重构，即系统组织成员吸收并掌握知识的过程，细分为通过动手参与实践来学习显性知识、通过模拟或实验在虚拟情境中强化知识掌握两个步骤。上述知识转换主要依赖结构资本支持[46]，核心在于维持系统运转的机制与结构，包括系统的组织管理、风险评估、资源协调等。

整体上，数据驱动知识范式以显性知识为主导，得益于IoT技术的支撑，能够通过数据资源增强系统控制能力、巩固制造系统的完整性，进而采用格式化数据打破信息传播壁垒、增益知识流通速率、扩充知识流程迭代次数。

2. 功能表征知识范式

功能表征知识范式是针对HIMS第二阶段的知识演化结构表征。在这一阶段，以原先的知识流闭环为基础，通过知识创造拓展知识路径，即基于知识库的具体知识生成。此时，情境问题的地位得以凸显，实际情境中的具体问题则为知识流动提供了功能指引。相较于原先单纯依靠数据抽取驱动的知识积累，功能表征知识范式更注重面向实际问题的新知识获取，赋予新知识以更多的情境要素。系统工人的工作性质也发生了一定程度的转变，从单纯面向机器、面向数据的形式操作转变为面向符号功能操作的知识活动，即物质现实的符号性与系统性表征[45]。

功能表征知识范式下的主要知识转换，其类型在原先基础上加入了社会化过程。知识社会化指通过联合活动与经验共享，使旧的隐性知识转化为新的隐性知识的过程，包括在具体实践活动中通过重复操作以获取知识、在系统内部通过协同合作以创造知识两个方面。在知识社会化的背景下，原先资本支持结构中社会资本的权重开始上升，核心在于服务系统内部的群体协作、群智共享，建立以信任协同为基础的高效组织关系网，进而降低知识交易成本、群智创新高质量知识、增强团队系统竞争力。

整体上，功能表征知识范式在原先大量知识积累的基础上，基于知识元关联网络实现集成规模式创新；相较数据驱动的程式化知识活动，功能表征中的情景问题引导强化了知识迭代效率。此外，隐性知识被正式纳入系统的统筹管理范围，基于社交

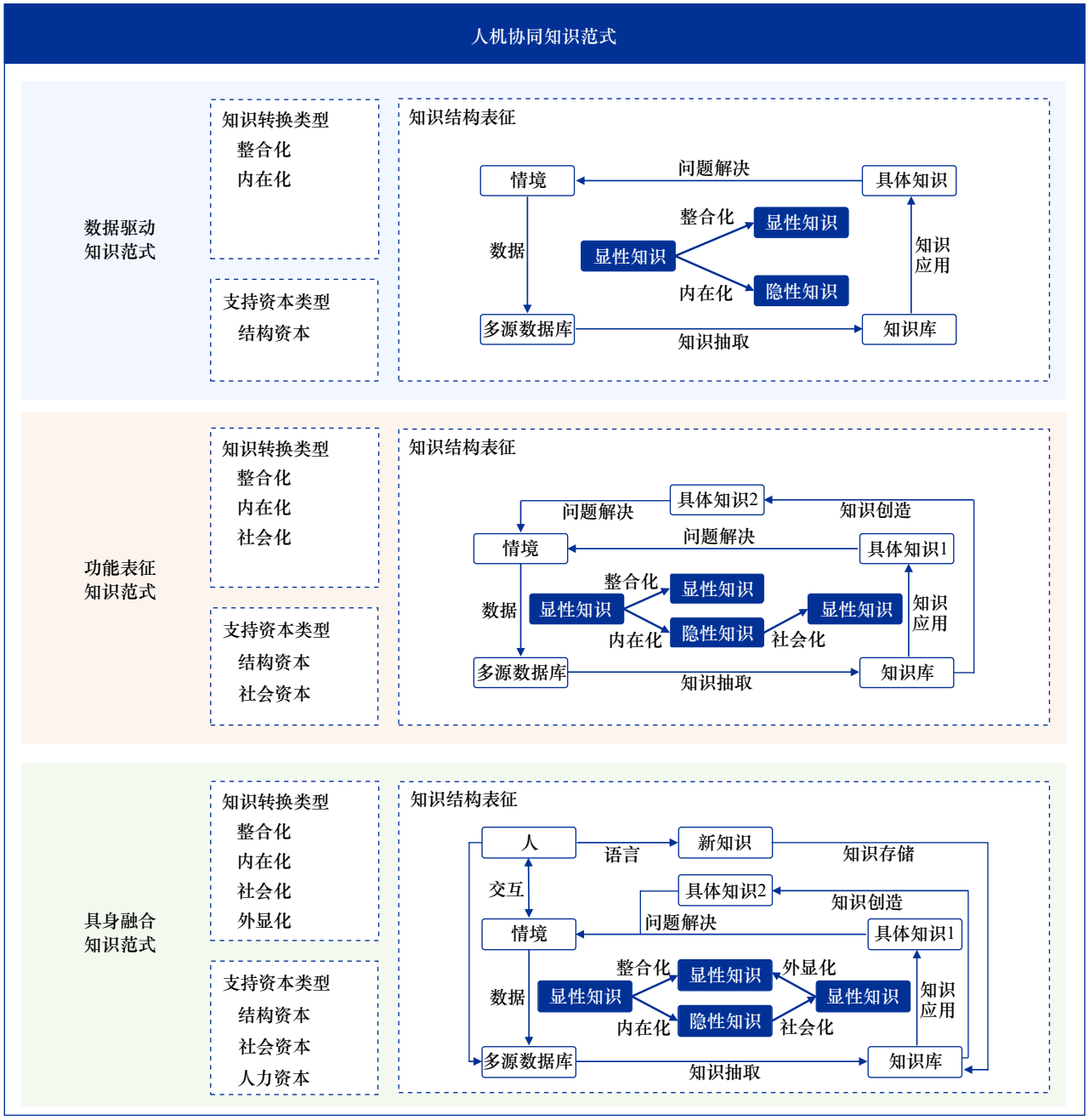

图4　人机协同知识范式

关系联结的组织网络使部分隐性知识被成规模、可预测地应用到生成管理。

3. 具身融合知识范式

具身融合知识范式是针对HIMS第三阶段的知识演化结构表征。在这一阶段，人的主体地位得到前所未有的提升，人与情境间交互活动包含的信息通过嵌入式设备监测的方式进入数据库；边缘计算、区块链等技术的发展则允许人类主体与数据库之间进行强联结态的高频交互，从而建立分布式、去中心化、即时反应的动态数据库，强化知识更新的时效性。

另一方面，“知识创造之地”构想[47]立足现象学观点，认为知识是在时间、空间、主体的间性联结情境下构造形成的，相应过程需要语言赋予信息以可解释的意义。“知识创造之地”包含物理和虚拟的多重时/空间的场地，可描述为“此在的场地”，如物理空间的会议室、网络上的电子邮件等一切可以发生语言思想交流的场地。在具身融合知

识范式中，“知识创造之地”集中体现为人与人之间通过语言交流以产生新的知识创造，具体涉及知识转换中的外显化过程：通过语言阐明将隐性知识转化为显性知识，使隐性知识具象化而可共享和传播，进而成为构建新知识的基础，使把握大规模隐性知识成为可能。在知识外显化的背景下，原先资本支持结构中人力资本的权重开始上升，核心在于保证系统的优质人力资源匹配、系统内的个体拥有丰富的知识经验作为沟通的基础，为相关人员提供充分交流的环境空间与知识产权保障，强化知识的交流、共享与创新生成。

整体上，具身融合知识范式基于现象学的观点，重视系统中人类主体的作用，在原先考量隐性知识的基础上，通过语言阐明的方式科学化、系统化、组织化地把握隐性知识的转化与生成，在真正意义上建立较完备的生产制造知识体系。

（二）“技术－系统－知识”三位一体结构

智能制造人机协同技术“难问题”的哲学知识论本质在于制造系统中显性知识与隐性知识统筹协调的困难。当前，无论是AI技术还是先进制造技术，相应发展均未能充分重视隐性知识在系统中发挥的作用，而隐性知识自身非线性、非可化约特征提高了知识表征与理解的难度。本研究从HIMS转型升级的现实路径出发，构建螺旋上升式的人机协同知识范式，提出从数据驱动到功能表征再到具身融合的递进式知识进化路线，以此逐步增强对制造系统内部隐性知识的表征、理解和把握，最终以科学化的方法建立较完备的开放式知识管理模式。

该知识范式演进的本质，可被概念化为系统内部显/隐性知识的辩证运动过程：系统通过人与情境、人与机器间的双向交互产生复杂的知识流动，带动多种资本流通与知识转换，进而实现系统知识创造要素的有机配置。从现象学的角度看，知识来源于人类对认知经验的直接描述，而显/隐性两种类型的知识本质上是认知连续体的“一体两面”[47]。由此，该知识范式还可被视为还原人类认知过程本真状态的阶段性系统工程：面向人机高水平融合的创新知识战略，将知识表征及描述从数字语言还原到自然语言，完整再现认知记忆中储存的时/空间场域情境，在最大程度上保证智能制造知识体系的真实性与生命力（见图5）。

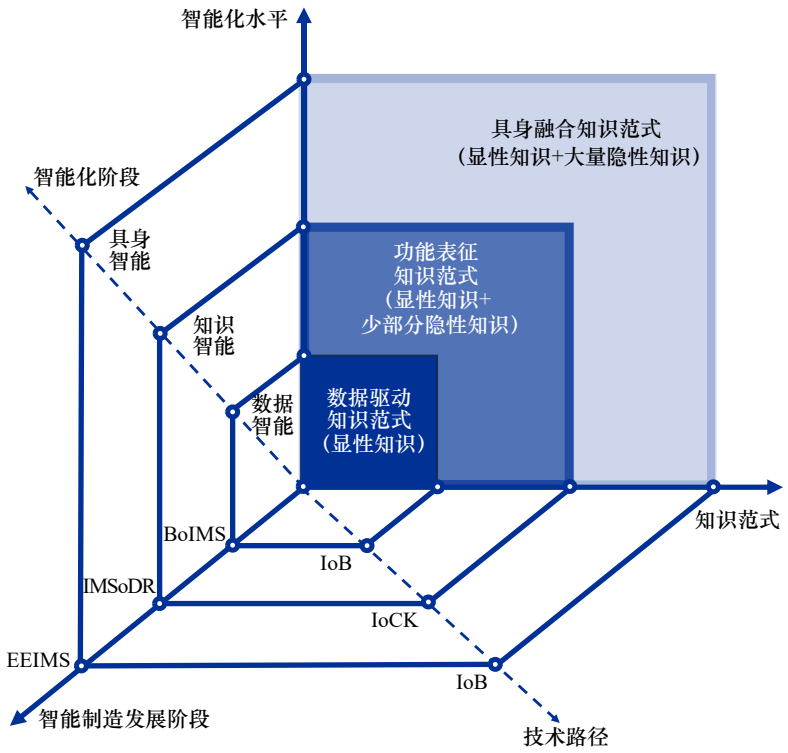

图5　“技术－系统－知识”三位一体结构示意图

六、结语

人机协同技术是新一代智能制造发展的关键因素、实现人机和谐共生目标的核心技术，然而其底层哲学逻辑一直面临着人机智能隔阂的“难问题”。本文从技术哲学知识论的角度出发，科学还原相应“难问题”的本质，洞察生产技术活动中一直被忽略的隐性知识；结合现象学反思，提出包含IoT、IoCK、IoB在内的笛卡尔式智能制造三维技术路径，根据“海德格尔式人工智能”构想，建立“行为导向、指示表征、具身嵌入”的HIMS架构；集成“技术–系统–知识”的科学逻辑推理，构建“数据驱动、功能表征、具身融合”螺旋上升的智能制造人机协同知识范式，为人机协同技术“难问题”的消解提供了有益参照。

为了高效推动新一代智能制造发展，可采取下列保障性举措。① 建立并健全知识工程分类评估体系。目前国内外智能制造知识数据的标准化、工程化、体系化工作尚处于起步阶段，也普遍对隐性知识的重要性考虑不足；可适时组织专家团队，就智能制造专业知识开展行业性标准化研究。② 精准对标笛卡尔式智能制造技术路径，择机设立重大科技项目，鼓励科研院所、高校、企业等“揭榜挂帅”，着力解决“卡脖子”技术难题；结合HIMS架构，论证和制定产业精准扶持政策，因地制宜推进各地智能制造产业建设。③ 建立一批包括管理部门、企业、高校、科研院所在内的多侧应用型智能制造公共服务平台，建立AI、先进制造等技术的开源共享知识库，强化知识流通与整合应用，以市场机制加速推动相关知识创造。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: November 29, 2023; **Revised date:** December 13, 2023

Corresponding author: Xu Jiang is a professor from the College of Design and Innovation, Tongji University. His major research fields include innovative design strategy, design engineering and computing. E-mail: xujzju@163.com

Funding project: National Key R&D Program of China (2022YFB3303300); Chinese Academy of Engineering project “Research on the Development Strategy of Emerging Industries (2035)” (2018-ZD-12), “Research on the Development Strategy of Jiangxi’s Innovative Design Industry in the Age of Digital Intelligence” (2022-03JXZT-05)

参考文献

[1] 薛塬, 臧冀原, 孔德婧, 等. 面向智能制造的产业模式演变与创新应用 [J]. 机械工程学报, 2022, 58(18): 303–318.
Xue Y, Zang J Y, Kong D J, et al. Evolution and innovative implementation of industrial model for intelligent manufacturing [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2022, 58(18): 303–318.

[2] 姚锡凡, 景轩, 张剑铭, 等. 走向新工业革命的智能制造 [J]. 计算机集成制造系统, 2020, 26(9): 2299–2320.
Yao X F, Jing X, Zhang J M, et al. Towards smart manufacturing for new industrial revolution [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2020, 26(9): 2299–2320.

[3] 王燕鹏, 王学昭, 陈小莉, 等. 基于科技政策和前沿动态的第四次工业革命关键技术和举措分析 [J]. 情报学报, 2022, 41(1): 29–37.
Wang Y P, Wang X Z, Chen X L, et al. Analysis of key technologies and measures of the fourth industrial revolution based on S & T news mining [J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2022, 41(1): 29–37.

[4] 胡成飞, 姜勇, 张旋. 面向中国制造2050的实施路线 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.
Hu C F, Jiang Y, Zhang X. Implementation route for Made in China 2050 [M]. Beijing: China Machine Press, 2017.

[5] 李培根. 中国制造2025: “智”造蜕变 [J]. 企业研究, 2015 (8): 10–11.
Li P G. Made in China 2025: “Intellectual” creation and transformation [J]. Business Research, 2015 (8): 10–11.

[6] Zhou J, Zhou Y H, Wang B C, et al. Human–cyber–physical systems (HCPSs) in the context of new-generation intelligent manufacturing [J]. Engineering, 2019, 5(4): 71–97.

[7] 周济. 智能制造——“中国制造2025” 的主攻方向 [J]. 中国机械工程, 2015, 26(17): 2273–2284.
Zhou J. Intelligent manufacturing—Main direction of “Made in China 2025” [J]. China Mechanical Engineering, 2015, 26(17): 2273–2284.

[8] 路甬祥. 走向绿色和智能制造——中国制造发展之路 [J]. 中国机械工程, 2010, 21(4): 379–386, 399.
Lu Y X. Towards green and intelligent manufacturing—The road of manufacturing development in China [J]. China Mechanical Engineering, 2010, 21(4): 379–386, 399.

[9] 臧冀原, 刘宇飞, 王柏村, 等. 面向2035的智能制造技术预见和路线图研究 [J]. 机械工程学报, 2022, 58(4): 285–308.
Zang J Y, Liu Y F, Wang B C, et al. Technology forecasting and roadmapping of intelligent manufacturing by 2035 [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2022, 58(4): 285–308.

[10] 谭建荣, 刘达新, 刘振宇, 等. 从数字制造到智能制造的关键技术途径研究 [J]. 中国工程科学, 2017, 19(3): 39–44.
Tan J R, Liu D X, Liu Z Y, et al. Research on key technical approaches for the transition from digital manufacturing to intelligent manufacturing [J]. Strategic Study of CAE, 2017, 19(3): 39–44.

[11] 谭建荣. 智能制造与机器人应用关键技术与发展趋势 [J]. 机器人技术与应用, 2017 (3): 18–19.
Tan J R. Key technologies and development trends of intelligent manufacturing and robot application [J]. Robot Technique and Application, 2017 (3): 18–19.

[12] Hatvany J, Nemes L. Intelligent manufacturing systems—A tenta-

tive forecast [J]. IFAC Proceedings Volumes, 1978, 11(1): 895–899.

[13] Schirner G, Erdogmus D, Chowdhury K, et al. The future of human-in-the-loop cyber-physical systems [J]. Computer, 2013, 46(1): 36–45.

[14] Wan J F, Yan H H, Liu Q, et al. Enabling cyber-physical systems with machine-to-machine technologies [J]. International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, 2013, 13(3/4): 187–196.

[15] "新一代人工智能引领下的智能制造研究"课题组. 中国智能制造的发展路径 [J]. 中国经济报告, 2019 (2): 36–43.
Research Group on *Intelligent Manufacturing Led by the New Generation of Artificial Intelligence*. Research on the development path of intelligent manufacturing in China [J]. China Policy Review, 2019 (2): 36–43.

[16] Zhou J, Li P G, Zhou Y H, et al. Toward new-generation intelligent manufacturing [J]. Engineering, 2018, 4(1): 28–47.

[17] Zheng N N, Liu Z Y, Ren P J, et al. Hybrid-augmented intelligence: Collaboration and cognition [J]. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 2017, 18(2): 153–179.

[18] Nardo M, Forino D, Murino T. The evolution of man–machine interaction: The role of human in Industry 4.0 paradigm [J]. Production & Manufacturing Research, 2020, 8(1): 20–34.

[19] 姚锡凡, 黄宇, 黄岩松, 等. 自主智能制造: 社会–信息–物理交互、参考体系架构与运作机制 [J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28(2): 325–338.
Yao X F, Huang Y, Huang Y S, et al. Autonomous smart manufacturing: Social-cyber-physical interaction, reference architecture and operation mechanism [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2022, 28(2): 325–338.

[20] Wahlberg L. Stanford encyclopedia of philosophy [EB/OL]. [2023-11-15]. https: //plato.stanford.edu/.

[21] Merleau-Ponty M. Phenomenology of perception [M]. London: Routledge, 2002.

[22] Thelen E, Schöner G, Scheier C, et al. The dynamics of embodiment: A field theory of infant perseverative reaching [J]. The Behavioral and Brain Sciences, 2001, 24(1): 1–34.

[23] Bergson H, Landes D, Grosz E. Creative evolution [M]. London: Routledge, 2022.

[24] 邓波, 韩茜, 罗丽. 试论工程知识论的研究"新范式"———一种现象学的知识论研究纲领 [J]. 自然辩证法研究, 2021, 37(2): 44–50.
Deng B, Han Q, Luo L. On the new paradigm of researching the theory of engineering knowledge: The phenomenological framework for researching of the theory of knowledge [J]. Studies in Dialectics of Nature, 2021, 37(2): 44–50.

[25] Meijers A. Philosophy of technology and engineering sciences [M]. Amsterdam: Elsevier, 2009.

[26] Smith A, Rogers J E T. An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations [M]. Oxford: Clarendon Press, 1869.

[27] Simon H A. Bounded rationality [M]. London: Palgrave Macmillan UK, 1990.

[28] Simon H A. The new science of management decision [M]. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 1960.

[29] 王柏村, 薛塬, 延建林, 等. 以人为本的智能制造: 理念、技术与应用 [J]. 中国工程科学, 2020, 22(4): 139–146.
Wang B C, Xue Y, Yan J L, et al. Human-centered intelligent manufacturing: Overview and perspectives [J]. Strategic Study of CAE, 2020, 22(4): 139–146.

[30] 王柏村, 彭晨, 易兵, 等. 智能时代的人机共融体: 技术驱动、以人为本——《The Humachine: Humankind, Machines, and the Future of Enterprise》导读 [J]. 中国机械工程, 2021, 32(19): 2390–2393.
Wang B C, Peng C, Yi B, et al. Man-machine integration in the intelligent age: Technology-driven, people-oriented—Introduction to *The Humachine: Humankind, Machines, and the Future of Enterprise* [J]. China Mechanical Engineering, 2021, 32(19): 2390–2393.

[31] Polanyi M. The study of man (Routledge revivals): The Lindsay memorial lectures 1958 [M]. London: Routledge, 2013.

[32] Polanyi M. Personal knowledge [M]. London: Routledge, 2012.

[33] Polanyi M. The logic of tacit inference [J]. Philosophy, 1966, 41 (155): 1–18.

[34] Polanyi M. Ii.—Knowing and being [J]. Mind, 1961 (280): 458–470.

[35] Searle J. Chinese room argument [J]. Scholarpedia, 2009, 4(8): 3100.

[36] 谭建荣, 刘振宇, 徐敬华. 新一代人工智能引领下的智能产品与装备 [J]. 中国工程科学, 2018, 20(4): 35–43.
Tan J R, Liu Z Y, Xu J H. Intelligent products and equipment led by new-generation artificial intelligence [J]. Strategic Study of CAE, 2018, 20(4): 35–43.

[37] Newell A, Simon H A. Computer science as empirical inquiry: Symbols and search [J]. Communications of the ACM, 1976, 19 (3): 113–126.

[38] Clark D D, Partridge C, Ramming J C, et al. A knowledge plane for the Internet [C]. Karlsruhe: Proceedings of the 2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications, 2003.

[39] Dreyfus H L. What computers still can't do: A critique of artificial reason [M]. Cambridge: MIT Press, 1992.

[40] McCarthy J, Hayes P J. Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence [EB/OL]. (1969-05-01)[2023-11-15]. http: //www-formal.stanford.edu/jmc/mcchay69.pdf.

[41] Dreyfus H L. Why Heideggerian AI failed and how fixing it would require making it more Heideggerian [J]. Artificial Intelligence, 2007, 171(18): 1137–1160.

[42] 朱清华. 德雷福斯与海德格尔式人工智能 [J]. 哲学动态, 2020 (10): 72–79, 128.
Zhu Q H. Artificial intelligence and being-in-the-world: Dreyfus on Heideggerian artificial intelligence [J]. Philosophical Trends, 2020 (10): 72–79, 128.

[43] Wheeler M. Reconstructing the cognitive world: The next step [M]. Cambridge: MIT Press, 2005.

[44] Dreyfus S E. The five-stage model of adult skill acquisition [J]. Bulletin of Science, Technology & Society, 2004, 24(3): 177–181.

[45] Nishiguchi T, Nonaka I. Knowledge emergence: Social, technical, and evolutionary dimensions of knowledge creation [M]. Oxford: Oxford University Press, 2001.

[46] Morey D, Maybury M T, Thuraisingham B. Knowledge management: Classic and contemporary works [M]. Cambridge: MIT Press, 2002.

[47] Nonaka I, Toyama R. The knowledge-creating theory revisited: Knowledge creation as a synthesizing process [J]. Knowledge Management Research & Practice, 2003, 1(1): 2–10.