

未来产业颠覆性技术创新的时空现象学研究

瞿浩翔, 徐江*, 徐静好

(同济大学设计创意学院, 上海 200092)

摘要: 未来产业是塑造新质生产力的关键方面, 其发展高度依赖颠覆性技术创新突破; 我国目前的基础研究与科技创新能力不显强健, 核心症结在于未能从哲学根源出发把握本质规律。本文基于现象学本质还原与先验还原的分析方法, 针对颠覆性技术创新瓶颈内涵的复杂哲学问题进行理论诊断, 溯源技术哲学、科学哲学的脉络谱系, 厘清现代技术与科学研究之间的辩证关系, 将技术创新问题投影至本源时空范畴。研究发现, 传统动力学时空观坚持身心二元的哲学思想, 将时空视为超越任何参考系的绝对抽象概念, 忽视身体与实践活动发挥的关键作用。为此, 集成现代科学与时空现象学理论, 推动“数据表征、知识流动、具身耦联”的时空重构; 响应未来产业战略需求与科学逻辑框架, 建立“技性科学、智能科学、具身科学”的未来科学研究范式演进架构; 融入系统科学思想方法, 构建“工程应用、智能集成、具身协同”的颠覆性技术创新系统。进一步地, 基于“哲学-科学-技术-产业”的四元现象结构、“新质-新知”工程创新战略, 提出增强发展组织能力、建立和健全服务保障机制、提高企业技术创新能力等应对建议。

关键词: 未来产业; 新质生产力; 颠覆性技术创新; 时空现象学; 时空观; 具身

中图分类号: N02 **文献标识码:** A

Spatiotemporal Phenomenology of Disruptive Technological Innovations in Future Industries

Qu Haoxiang, Xu Jiang*, Xu Jingyu

(College of Design and Innovation, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Future industries are crucial in shaping new productive forces, and their development highly depends on innovation breakthroughs in disruptive technologies. However, the current basic research and technological innovation capabilities of China are still weak, which lies in the failure to grasp the fundamental laws of technological innovation activities from a philosophical perspective. This study employs the analytical methods of phenomenological eidetic reduction and transcendental reduction to explore the complex philosophical issues underlying the bottleneck of disruptive technological innovation. It traces the lineage of technical philosophy and scientific philosophy, clarifies the dialectical relationship between modern technology and scientific research, and projects the problem of technological innovation into the realm of fundamental spatiotemporal categories. The study reveals that the traditional dynamical spatiotemporal perspective adheres to a mind-body dualistic philosophical thought, viewing space and time as abstract concepts transcending any frame of reference, thereby neglecting the crucial role played by the body and practical activities. Therefore, this study integrates modern science with the theory of spatiotemporal phenomenology to promote the reconstruction of spatiotemporal dimensions characterized by data representation, knowledge flow, and embodied coupling. It actively responds to the

收稿日期: 2024-03-26; 修回日期: 2024-05-21

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“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

strategic needs of future industries and the logical framework of science, establishing an evolutionary framework for future scientific research paradigms termed technological science, intelligent science, and embodied science. It incorporates systems science methodologies to construct a disruptive technological innovation system characterized by engineering application, intelligent integration, and embodied collaboration. Furthermore, based on the quadruple phenomenon structure of philosophy–science–technology–industry and the engineering innovation strategy of new quality–new knowledge, three development recommendations are proposed: establishment of special working groups, enhancement of service support mechanisms, and promotion of technological innovation capabilities of enterprises.

Keywords: future industry; new productive forces; disruptive technological innovation; spatiotemporal phenomenology; spatiotemporal perspective; embodiment

一、前言

在国际科技竞争趋于激烈的时代背景下,以大数据、物联网、新材料、新能源、先进制造等为代表的前沿科学技术呈现井喷式发展与指数级增长,为经济社会发展提供新的支撑,也将人类社会推向历史变革的“奇点”^[1-3]。在国家战略、市场需求的牵引下,重大科技创新催生了新兴产业变革,促成了新产品、新服务、新模式、新业态集成,催生了具有良好发展前景的未来产业^[4]。发达国家将发展未来产业视为抢占经济制高点、争夺全球话语权、赢得战略主动的关键内容,如美国颁布《美国将主导未来产业》《2020年未来产业法案》,德国发布《德国高科技战略》《国家工业战略2030》,法国提出“新工业法国”“法国2030”计划,日本倡导发展“社会5.0”“超智能社会”^[5]。从产业革命的历史经验可见,顺应潮流才能脱颖而出、引领发展,停滞不前将被动落后、付出代价^[6]。未来产业是我国赶超国际上拥有顶尖创新竞争力国家的重要依托,也是实现我国经济跨越式发展的战略机遇。因此,从底层哲学逻辑出发,把握科技创新与产业发展的本质规律,探寻未来产业发展的科学内涵、特征和路径,既是时代选择,也是国家强盛的必然要求。

未来产业相关的研究主要从3个层面展开:在宏观层面,基于社会科学与历史唯物主义,探究未来产业的历史定位与新质生产力的科学属性^[7-9];在中观层面,基于国家发展战略、产业层次结构与前沿科技进展,探究未来产业涉及的生产技术要素、组织管理模式与发展路线图^[10-13];在微观层面,基于具体产业与技术创新的需求,探究知识共享迁移、资源创新整合与技术综合应用的途径及方法^[14-17]。纵观已有研究成果,科技创新均被视为未来产业发展的命脉。

在此基础上,本文围绕颠覆性技术创新这一未

来产业竞争的关键点进行研究,着重在理论、方法、结论层面形成新进展。在理论层面,将哲学理论、工程管理研究融合,集成技术哲学与时空现象学理论,洞穿技术创新哲学机理,探究哲学思想引领下的工程管理研究范式。在方法层面,基于前沿科学技术进展和产业布局,通过现象学还原方法洞悉对应的哲学原理,为后续技术分析、模式分析、战略分析提供哲学方法论支撑。在结论层面,构建未来科学研究范式与颠覆性技术创新系统,识别“哲学–科学–技术–产业”四元现象结构,建立“新质–新知”工程创新战略,为未来产业高质量发展研究提供理论参考。

二、未来产业颠覆性技术创新瓶颈

(一) 未来产业与新质生产力

目前,未来产业研究处于萌芽阶段,学术界和产业界尚未统一相关概念界定^[18];最早的研究可追溯到20世纪90年代日本关于先进复合材料工程对未来产业发展的影响^[19,20]。我国“十四五”规划纲要提出,抢占未来产业发展先机、前瞻谋划未来产业,将类脑智能、量子信息、未来网络等作为产业孵化的重点领域^[10];也有文献从科技创新、经济效益、产业组织、战略布局等维度分析未来产业的概念与内涵^[21-23]。整体上,未来产业指由前沿科技驱动,尚处于萌芽期、孵化期、产业初化期,而发展潜能极大,具有显著颠覆性、前瞻性、引领性的新兴产业。

在马克思主义政治经济学中,生产力的本质是人类利用和改造自然、进行物质资料生产的能力^[24,25]。生产力推动国家财富增长,是组织结构存在的价值体现^[26]。新质生产力是以高科技、高效能、高质量为主要特征,集成新产业、新模式、新动能,超越现有要素驱动发展模式的先进生产力质

态。立足颠覆性技术创新，将经济增长由原先的人力、资本等要素驱动转变为创新驱动，推动劳动者、劳动资料、劳动对象的创新性优化组合，强调技术突破、产业升级、经济发展的高度统一^[27]。新质生产力的具体表现就是未来产业的发展^[28]，因而积极培育未来产业是塑造新质生产力的核心内容、实现我国生产力能级跃升的重点方面^[29]。

(二) 颠覆性技术创新瓶颈

新质生产力的科学属性表明，颠覆性技术创新是其发展的核心动能。颠覆性技术创新理论源于克里斯滕森关于颠覆性技术和颠覆性创新的论述，指在原理、性能、成本等方面优于现有主导性技术，能引发产业革命的原始性、根本性技术创新^[30-35]。颠覆性技术创新与社会进步密切相关，在美苏冷战期间被视为一种需要人为识别、介入、推进的科学战略^[36]。例如，美国国防部高级研究计划局（DARPA）培育了互联网、脑机接口、全球定位、隐身飞机等颠覆性技术创新，为构建世界领先的科技、产业、军事优势提供了坚实支撑^[37]。颠覆性技术创新作为决定未来产业发展的核心要素，对应的各项技术突破、应用与扩散都可能引发重大产业变革，甚至决定时代潮流走向^[38]。

世界已经进入数字经济时代，数字化、智能化

技术驱动知识深度交叉融合，形成复杂的“知识网络”，也使技术创新模式发生根本性转变^[39,40]。颠覆性技术创新的兴起过程表明，现代社会的技术创新已由原先的“梯次渐进”模式过渡到“连锁核爆”模式^[5]；颠覆性技术创新集中性、群体性、连续性涌现，显著扩大了优势创新群体与普通群体之间的技术差距。与发达国家的先发优势相比，我国自主创新仍处于劣势地位。此外，颠覆性技术创新发生过程存在明显的非主流性、不确定性、不透明性，导致具体实施过程中难以精准应对。为了扭转这种不利窘境，需要从哲学源头洞察技术创新实质，遵循客观科学规律，高质量推动产业发展。为此，本研究分别针对传统技术创新、颠覆性技术创新开展结构性分析，基于现象学还原的方法，力求把握颠覆性技术创新的瓶颈所在（见图1）。

传统技术创新基于“人-物理”系统（HPS）或“信息-物理”系统（CPS），本质上是一种基于笛卡尔理性主义哲学的创新。在传统制造体系中，人基于自身的感受认知、经验积累、分析决策，操作并控制物理系统完成工作任务。伴随着第三次工业革命的兴起，信息技术的高速发展使人的角色逐渐被削弱，HPS开始朝向集成计算和物理过程的CPS转变，以实现数字化、自动化、智能化、无人化的自主生产制造模式^[41,42]。此时，系统中的人被

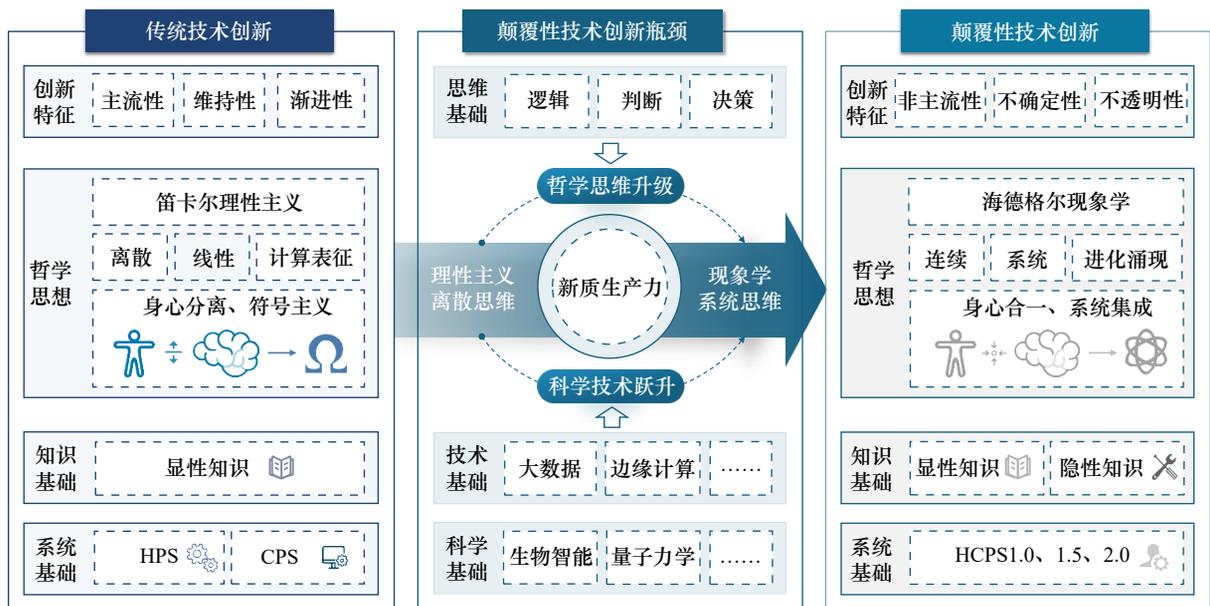


图1 颠覆性技术创新结构性分析
注：HCPS表示“人-信息-物理”系统。

视为静态的控制终端和决策中心，通过线性计算与统筹优化进行工作任务的精准控制，本质上与计算机系统无异。这种观点根植于传统认知科学的科学计算表征观，认为人类智能能够通过离身的符号运算实现；坚持哲学层面的身心二元论，忽略身体结构与认知过程之间的深度耦合，认为身体仅是一个有机实体而不具备任何智能属性。在理性主义哲学观的主导下，传统技术创新只注重可被表征和编码的显性知识，依赖身体感知、累积、涌现的隐性知识则被完全忽视^[43,44]。因此，在知识驱动创新的背景下，传统技术创新的知识基础出现不可避免的残缺：仅依赖显性知识的创新类似一种计算优化过程，通过对知识元的比对、排列、组合，形成程序化、配置化、规则化方案，实质上是一种维持性技术创新，无法产生颠覆性变革^[45]。

颠覆性技术创新基于HCPS，本质上是一种基于海德格尔现象学的创新。在现代制造体系中，HCPS是基本的组织架构，由原先的数字化制造、数字化网络化制造（HCPS1.0和1.5）向新一代智能制造（HCPS2.0）迈进^[46]，核心目标是实现以人为本的智能制造。从现象学的角度出发，HCPS中的人并非原先笛卡尔理性主义哲学视域中的“理性人”“逻辑人”，而是兼具理性逻辑与感性直觉、身心合一的行为主体。此时，人与外部物理系统超越了主客对立的桎梏，形成“人物合一”的上手实践状态^[47]，使隐性知识在身体实践过程中不断涌现，并在系统内部形成显/隐性知识有机链接的复杂网络，驱动知识的产生、积累、重用发生根本性转变，为激进性、革命性、颠覆性技术创新提供稳健的知识支撑。颠覆性技术创新的最大挑战在于对不确定性的把控^[48,49]，具体表现为创新过程的模糊性、突现性、不可预测性^[50]。根本原因是，HCPS中的人类实践是意识行为与身体活动的融合，身体的感性经验和隐性知识具有的显著非线性特征，导致创新过程存在诸多不确定因素。鉴于身体参与是颠覆性技术创新实施的必要条件，在保留机器效能优势的前提下，人机协同技术成为驱动制造系统转型升级的核心力量。通过异构技术、信息功能建模、多功能子系统等集成的方式，推动人与机器之间多方面要素的协同，全面优化系统变量域、函数域的数据覆盖范畴与信息流通速率，驱动原先离散型制造系统向连续型智能制造系统转变。

综上，传统技术创新基于笛卡尔式的理性主义哲学认知体系，仅考虑可表征的显性知识与人类思维的理性面，遗漏人的身体、环境、时空等因素的考量，致使“从0到1”的原始性、基础性创新乏力；颠覆性技术创新则基于海德格尔式现象学认知体系，综合显/隐性知识、人类思维的理/感性面，集成身心合一的多方位因素辨析能力，具有更丰富、更强大的原始创新动能。

三、技术创新的时空现象学超越论洞察

颠覆性技术创新的瓶颈与系统内部显/隐性知识分布紧密关联。然而，技术与工程活动并不局限于单一系统内部的知识重用，而是追求在实践与应用过程中拓展知识^[51]。技术对知识的应用意味着，创新无法脱离已有科学研究成果，离不开面向生活世界的真实时空场景。为了从根本上把握颠覆性技术创新规律，需要厘清现代技术与科学研究的关系，从时空间双重维度出发，对技术创新活动实施更加彻底的理论还原。

（一）现代技术研究定位厘清

科学技术史表明，科学与技术的关系已从原先的分离并行转向当下的多层级、一体化耦合协调发展^[51]。传统科学推崇运用数学、几何模型对自然现象进行抽象表征，探究自然演化规律与运行机制。传统技术主张提炼人工技能与装备操作中的经验法则、试错技巧，集成为共性技术用于解决工程实践问题。鉴于传统科学与技术之间执行理念及目标的差异，加之重理论、轻技能的学术研究传统，传统科学与技术之间存在严重的认识论分裂^[52,53]。直至第二次工业革命，随着电学、化学的蓬勃发展，科学与技术之间逐渐呈现交叉融合的发展态势，科学研究开始为新技术与新产业的发展提供理论基础。此时，技术被视为一种应用科学，认为科学研究应当为技术发明与创新设计提供理论支撑，从而建立了“科学发现—工业应用”的线性模型^[54]。后续，不断优化升级的现代技术引发了现代科学的深刻变革，科学研究对高端技术装备的依赖性更为突出。为此，施塔恩贝格团体提出了“技术终结论”，认为科学发展的最终阶段应主动服务于国家战略性工程与产业需求，由新技术支持新知识发现，构建面

向生产实践的完整知识体系^[55]。进一步地，以勒拉斯为代表的技术哲学家强调实践的首要地位，主张整合科学与技术资源，实现融合创新，通过人工物的设计来协调人与自然的关系^[56,57]。

在现代科学与技术交叉融合的过程中，出现了工程科学概念：萌生于第一次工业革命后期的英国，成熟于第二次工业革命时期的德国哥廷根大学应用力学学派^[58]。钱学森曾对工程科学做出具体阐述，运用数学、物理、化学等基础科学原理，集成定性到定量的研究方法，通过技术途径应用于生产实践^[59]；由此建立了“基础研究—工程科学—工程技术”的三层次系统结构。工程科学与自然科学在研究对象、研究目的、发展动力等方面存在显著差异。工程科学面向工程实践中的共性问题，以价值导向、功利效益为标准，兼具战略性、生活性与实践性，将满足产业需求与民生福祉作为终极目标；具有独特的逻辑知识结构，涉及技术应用场景中物理现象（如材料、设备、过程）的探究、相关工程理论和技术原理的优化提升、工程活动中经济和社会要素的管理调控。

（二）技术创新的时空现象学还原

工程科学作为工业革命的一项重要成果，回应了技术知识专业化、系统化、科学化的历史需求，主动承袭了自然科学的世界观，即自然哲学^[61]。近代以来，自然哲学以物理学为基础，建立起完整的绝对时空概念模型，形成了牛顿古典力学时空观^[60-62]；坚持理性主义主客二元论，将时空假定完全脱离人类主体的独立模块^[63]。其中，绝对时间是一种具有绝对性、均质性、真实性、数学性的流动结构，属于对纯粹客体运动的参数化表征与度量；绝对空间则是一种单一、平直、无限、连续、各向同质的三维欧氏几何空间，属于客体物理坐标位置的映射^[64]。绝对时空作为一种“静态”外部存在，为事件发生顺序提供基于时空坐标的因果序列推断，不可避免地导向以“拉普拉斯妖”为代表的机械决定论。绝对时空观无法解释“第一推动”问题，所贯彻的动力学可逆性始终与热力学不可逆性相悖。爱因斯坦在否定绝对时空观的基础上提出了相对论的时空观，认为时间和空间是集成的四维连续统并伴随物质运动发生变化^[65-67]。然而，相对论时空仍是一种线性、可逆、几何的动力学时空

间，主观排除了事物运动的偶然性、随机性和不规则性。

动力学时空观认为，时空在逻辑上先于物质实体，前者是构成后者实际存在的必要条件。基于此，物理学得以通过数学原则来描述诸多物体间的位置关系。然而，这种时空的来源始终无法得到客观物质实证。这是因为，动力学时空观在思想上坚持了笛卡尔的身心二元论，将心灵视为独立于身体的绝对精神范畴；将时空建立在心灵意识构想的先验逻辑概念上，背离了现实世界的物质基础，导致理论与生产实践严重脱节。例如，在现有生产制造的调度优化过程中，在满足生产资源、关系、约束的前提下，较多采用数学规划与科学算法进行建模和求解，制定以最短工期为目标的调度计划，所得结果是一种动力学时间的最小化运筹方案。但是，当量子力学将概率引入微观物理学时就已经决定，系统的复杂性、随机性和不确定性是无法完全排除的。因此，调度优化本质上是一种理想状态下的统筹，相关解决方案通常能够取得理论最优解却无法落地应用。无论是自然界还是人工设计，都不存在能够完全还原现实任务场景的装备、算法与数据系统^[68]，因而调度优化采用的动力学时间规划结果必然无法完整实现。

在综合热力学、相对论、量子力学、生物学的基础上，普里戈金提出了耗散结构理论的时空观，将时间分为外部时间、内部时间：前者即传统的动力学时间，可根据认知任务需求进行不断的微型分割；后者是适应热力学系统的演化时间，伴随系统“熵增”具有不可逆性、不均匀性和随机性^[69]，作为系统的内部变量，本质上是系统演化进程的测度；前者以后者为基础，是各子系统内后者的某种均值。内部时间这一科学发现与柏格森、海德格尔等哲学家的观念预期具有高度的一致性^[69]，即时间并非一种绝对客观的外部结构，这就证明了现象学时空观的科学性、准确性和预见性。

时空现象学集成了本质还原、先验还原、意识内省、描述性分析等现象学研究方法，用于对时空结构的理论透视与科学洞察。现象学是一种致力于还原事物本质的哲学理论与方法，通过逻辑辩证反思与推演，形成对世界运行结构及原理的深层次认知^[70]。在传统科学乃至自然哲学的认知范畴中，静态时空结构是研究事物运动规律的前置条件与

判据。相关研究在时空间序列约束下，集成事物运动的协调关系，探索系统全局的运行机制和规律，呈现理论上的能控性和确定性。众多现象学哲学家敏锐地捕捉到这种静态时空间结构的缺陷：内涵根深蒂固的计算表征思维，倾向对外部世界进行参数化、结构化表征，以形式化、绝对化地把握客观规律。但在具体实施过程中，结构化表征将不可避免地破坏原本事物运动的连贯性，导致解析结果的离散化、几何化与碎片化。现象学致力于从本源处揭示事物演化规律，悬置固有计算表征思维与因果序列判断，还原时空间与意识、身体乃至主体实践之间的关系。进一步地，本研究立足时空现象学的理论方法，深入剖析技术创新活动对应的时空间结构。

柏格森的时间绵延论是系列时空现象学理论的先导，认为时间是一种质性化、不可分割、不可测量的动态流变，且各时间节点互相渗透融合并形成“绵延”结构。绵延时间与生命主体意识之间存在紧耦合关系，时间是一种“生命之流”^[71]。胡塞尔在时间的意识性研究上更进一步，提出了“内时间意识”概念，将常规认知中的客观时间还原为主观的时间意识：主体通过“原印象-滞留-前摄”的意识结构，结合感知觉约束条件，实现对时间运动的迁移认知^[72]。海德格尔在汲取前人思想的基础上，超越性地提出时间是人类主体所依赖的生存结构，使时间不再局限于某种封闭性的意识观念，而是跃升为主体理解外部世界的初始化系统环境与前置条件，也与主体的实践活动建立起紧密的动态链接关系。时间作为集成各生存要素的纽带，从“将来”反向延展到“现在”，在纵向上动态配置了具有本真性、连续性、整体性特征的开放式元场域结构^[73]。同样基于生存论立场，海德格尔提出了“在之中”的空间观，认为空间并非一种无界区域，通过人类主体“在世界之中”的上手实践活动，可快速缩短人与物的间距，进而集中感知、映射、表征具体事物的位置分布关系^[74]。最后，梅洛庞蒂从现象学身体的立场出发，将时间与空间概念进行对偶转换并聚焦映射至身体，建立起归一化、中心化、系统化的具身时空观^[75]。整体上，时空现象学坚持了主客体辩证统一，强调了人类主体在构建、完善、扩展时空间系统全部过程中的基础性作用，准确观察到时空间的“生长性”，揭示了主体实践与时空演化过程的双向映射结构及紧密协同关系。

时空现象学集成了身心合一、时空一体的哲学观，将时空间概念建立在以现象学身体为核心的实践活动与知觉体验上（见图2）。科学描述实践活动过程，映射对应的时空间结构，结合身体知觉感受与主观判断，予以各实践过程的个性化权重赋值，形成基于活动过程表征的多维时空间评价体系，使时空现象学概念能够以具象化形式呈现。

在现代生产制造领域中，时空现象学概念成为驱动颠覆性技术创新的底层逻辑支撑，人类数字孪生技术（HDT）是典型案例。传统制造系统的建模仿真普遍将生产过程抽象为离散加工步骤，通过研究各步骤间的逻辑关系与序列排布来控制、优化、提升系统性能；采用的是动力学时空观，不仅导致人与物理系统割裂，而且将原先完整的时空间依据工序分割为离散节点，破坏了子系统之间的有机连接，使系统难以应对参数优化更新后出现的级联效应。HDT将人置于生产过程的核心位置，在制造系统设计中耦合人类的感知力、决策力、容错等优势特征，以最大限度地提升系统的敏捷性、灵活性、精准性和鲁棒性，从根本上改变人机集成系统的生产实践模式^[76]；本质上采用的是时空现象学概念，通过人类的数字化参与，集成数字空间与物理空间“虚实相融”特征，为系统内部的时空间建构提供身体与实践要素；衍生出一种动态演进的时空现象学概念，可满足系统自主更新与实时反馈的需求，使制造系统的仿真过程从原先“一次性仿真”“孤立性仿真”“单一事件仿真”转变为面向全生命周期流程的高性能仿真。

综上，时空现象学概念作为一种支撑技术创新与工程实践的新思想而被提出，本质上是对传统动力学时空观的扬弃与超越：反对离散化、均质化、单一化的时空认知，还原与人类主体实践活动共构的时空间结构。面对实际生产制造过程中多源、模糊、异质异构的复杂环境，动力学时空观受到传统计算表征思维的约束，只能采取离散化的决策处理方式。时空现象学坚持主客辩证统一的科学思维模式，强调人类身体要素的实践参与，赋予系统内部以涌现、集成等非线性特征，为反馈信息的时效性获取、矢量增维、高质量融合提供完备的理论依据；进一步采取并行式、分布式、多线程处理模式，为构建高精度、高时效、高智能的制造系统确立坚实基础。

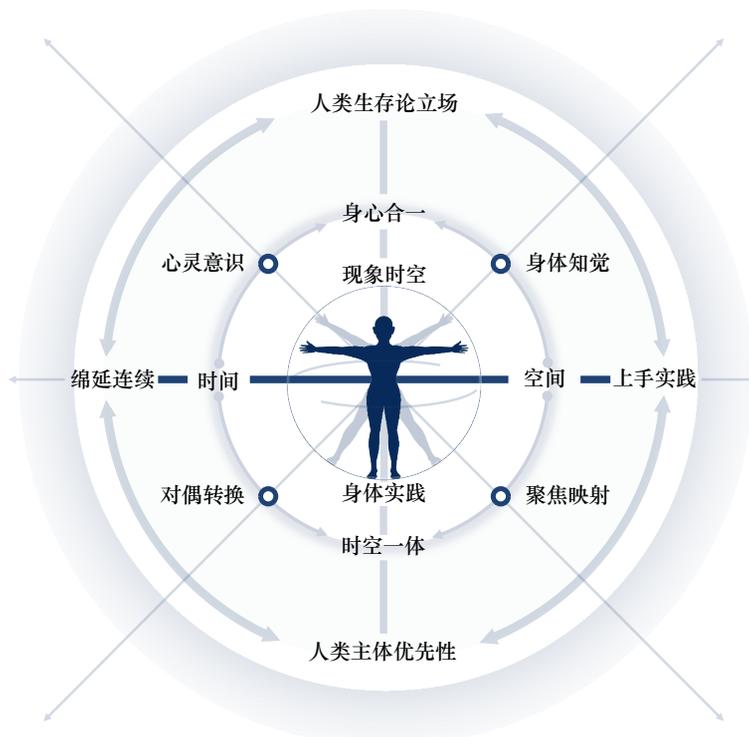


图2 时空现象学概念

四、时空现象学驱动的未来科学研究范式

面对未来产业颠覆性技术创新的新特点、新要求、新挑战，需要追本溯源，基于底层科学研究范式来提升知识创造水平。本研究在时空现象学理论还原的基础上，对传统科学研究范式进行哲学反思，结合前沿科技发展境况，集成数据、信息、知识、身体等多重系统要素，进行科学研究的时空重构，将绝对抽象的时空间置于具体系统要素（如数据、知识、身体）上；围绕制造系统智能化、集约化、高端化发展趋势，探索服务于未来产业发展与颠覆性技术创新的未来科学研究范式。

（一）科学研究时空重构

经典科学研究范式以动力学时空观为先导，采取假设演绎的方法确立逻辑推理框架，明确概念知识的定义、原则与标准，形成逻辑闭环的科学知识体系；再通过实验验证知识的准确性和可靠性，增强科学理论的解释力与泛用力^[77-79]。这一做法的优势在于，通过抽象符号表征精准把握客观规律，构建密集型知识网络和拓扑推理机制，高效应用于工程实践^[80]；然而，采用的动力学时空观在一定程度

上忽视了人类的身体要素，得到的是不完备的显性知识集合，限制了知识创新的灵活性、奇异性与可扩展性^[81]。整体上，经典科学研究范式是现代人类大规模知识积累与技术创新的前提条件，所建立的程序化、规则化、标准化的知识挖掘、推理与创新机制，具有极高的理论与实践价值。因此，本研究主张采取渐进优化策略，保留经典科学研究范式严格缜密的理论优势，逐步更新原有的动力学时空观，朝着更为贴近现实生活世界的时空现象学方向整合优化。

普里戈金认为，熵是反映事物状态的“信息”^[69]，内部时间应是一种全息波频率，映射系统内部“全息元”的整体结构，而热力学的时间应是各子系统内部全息波动干涉叠加后取得的某种算符均值^[63]。受此启发，出现了针对时空理解的信息转向：时空可被表征为熵乃至全息波，本质上是一种全息物理状态。耗散结构理论将对时间的研究迁移至对全息波的理解上，是一种根本性转换，对传统机械论、决定论、因果论主导科学范式的突破^[82]。在此基础上，本研究从数据表征、知识流动、具身耦联三重维度依次展开，集成科学创新、技术转化、产业应用全要素耦合分析，对科学研究前置时

空观进行哲学重构，建立更符合科学系统演化规律的时空认知。

1. 数据表征时空

数据表征时空集成耗散结构理论与现象学反思，认为时空并非独立于物质的外部框架，而将时空概念从原先的绝对先验逻辑结构向具体的功能要素转化，尝试将数据作为时空结构表征的集中载体，再通过数据内部存储的信息来表征事物的运动过程。具体地，围绕时空几何量、物理量以及物理过程的定量统计、分析与测量结果，集成大数据、人工智能（AI）、云计算、边缘计算、空间计算等信息技术，提炼时空内部的数字化特征，再通过数字孪生、网络协同、智能交互等方式，建立虚实结合的时空结构模型。需要注意的是，数据表征时空本质上仍属于动力学时空，核心在于映射事物运动的相对位置关系与事件发生序列；不同之处在于，通过数据表征的方法揭示时间与空间的紧耦合链接关系，增进对时空一体化的理解。可以进一步认为，数据表征是对时空内部信息进行凝练、挖掘、识别、深层次分析的基础，为后续探究内部时空架构的全息波属性提供数据支撑。

在科学创新方面，面向多维度、多层次、多尺度的高保真理论融合建模与精密化事态描述需求，数据表征时空提供丰富的材料基础，可显著提升科学理论模型的准确性、动态性和完备性。在技术转化方面，数据表征时空使人类掌握的数据规模、维度、质量得到跨越式提升，为AI大模型参数训练与优化提供充分支持，显著提升建模仿真技术的精度、效率与自动化水平。在产业应用方面，数据表征时空进一步推动包括互联网、物联网、工业大数据在内的信息技术产业增长，动态数据支撑将使相关产业形态从原有的工业化运营向战略性预测模式转变，显著提升产业发展的韧性、创新性与前瞻性。

2. 知识流动时空

知识流动时空充分运用指示表征思想^[68]，着重提升时空重构过程的操作效率。知识是信息的集中反映，使时空概念以更为系统化、规范化、细粒化的形式呈现。从“数据”中提炼精华的“知识”作为系统要素，将提升表征结构基础单元的信息浓度，减少全流程操作步骤。具体地，在原有数据表征时空的基础上，进一步利用神经计算、模

糊计算、语义计算、进化计算等技术，挖掘大数据中蕴含的跨学科领域知识，将时空结构表征由原先的数据支撑转化为知识支撑。在对知识进行粒度分析、归纳、优化的基础上，去除冗余信息、把握知识演化规律、构建动态知识网络，建立基于知识流动映射的时空认知模型。知识流动的实质是大数据内部价值信息的发现、萃取与集成，表现为系统内部全息波动，本质上是一种热力学时空。然而此时的时空概念是不完全的，这是因为经过标准化整合与结构化表征的知识仍局限于显性知识范畴，缺乏对隐性知识的有效识别、组织与管理，致使知识承载的信息不能以完备形式呈现，必然导致对部分事物运动表征的遗漏。

在科学创新方面，知识流动时空调用多学科、多门类的知识储备，促进跨学科、多领域的前沿交叉研究，使科学发明与创造突破传统概念界限并真正成为“大科学工程”^[83,84]。在技术转化方面，知识流动时空拓展并丰富知识资源内容的多样性与系统性，为产品创新设计、装备技术研发提供稳健的知识重用基础与经验支撑，降低技术研发的相对成本与耗时，促进高新技术攻关及应用转化的提质增效。在产业应用方面，知识流动时空使原有产业的发展策略由数据驱动转变为知识驱动，集成新型知识资源管理，推动产业技术升级与变革，在根本上改变原先以生产要素大规模、高强度投入为核心的低效增长模式，催生结构布局合理、智能化水平突出、产业竞争力强劲的新兴产业集群。

3. 具身耦联时空

具身耦联时空集成时空现象学、认知科学、系统科学的理论方法，将人类主体置于时空结构的中心位置，强调身体和实践发挥的基础性作用，整合多源数据信息，还原时空连续性、整体性的本真状态。具体地，具身耦联时空在原先数据、信息、知识表征的基础上，集成移动互联、人机交互、脑机接口等技术，将人类主体的实践活动和身体要素作为时空的根基，再根据主体动态化、情境化、复合化的知觉反馈，建立对事件发生序列和事物运动轨迹的立体描述与科学判断、基于身体行为活动映射的全新时空概念。不同于传统测度化、精确化表征，此时具身耦联时空概念呈现一定的模糊性、相对性、运动性，本质上是集灵活性、平稳性、泛用性于一体的时空现象学。与传统

基于位置坐标表征的形式不同, 具身耦联时空间以具体事件为基准开展行为序列映射, 以具体情境和事件为单元进行数据收集、整理与存储, 构建以“数据身体”为核心的拓扑网络组织架构, 形成兼具身体与数字特征的动态描述结构; 完成从数据、信息、知识再到身体的高层次升维, 使有关概念模型能够以全息波的形式完整呈现, 涵盖大量显性知识以及被长期忽视的隐性知识, 集成“人-机-环境”多重要素, 显著地提升人类的时空认知水平。在哲学层面, 未来产业的发展不仅将人从繁重的体力劳动、恶劣的作业环境中解放出来, 而且集成多种要素的人机协同技术, 打破人与人、人与机器、人与环境之间的界限, 构建人机共融的具身耦联时空间, 强化人类主体的自主参与性和主观能动性, 实现感知增强、体验增强、智慧增强, 全方位拓展人类的真实自由。

在科学创新方面, 具身耦联时空间为知识原始创新注入强劲动能, 人类主体的参与赋予研究过程以全局性、未来性的宏观视野, 推动知识创新过程从局部最优解向全局最优解转变。在技术转化方面, 具身耦联时空间从根本上颠覆现有智能技术研发思路, 使技术创新不再以无人化、自动化为目标, 而是转向人机混合、人机协同的复杂技术系统研究, 以充分发挥层次性、复合性、组织性的新型技术集成效应, 循序推动系统技术创新的多功能涌现机制建设。

在产业应用方面, 具身耦联时空间全面服务于未来产业布局, 集成信息、物理、化学、生物等学科的前沿科技成果, 开发嵌入式、可穿戴联网设备, 构建以人类身体为核心的身联网络系统, 推动未来产业设计制造一体化建设。进一步地, 身联网络系统强化集成性、统一性、完整性的“端到端”供应链建设, 使消费者需求能够在设计和生产过程中得到及时响应, 全面推动以用户为中心的服务型制造模式建设, 提升产品和服务的个性化体验, 实现以人为本的智能制造。

(二) 未来科学研究范式

重大科学研究范式变革源自哲学层面的新思想和新发现^[85,86]。哲学层面的时空重构为科学研究范式转换和机制创新提供新契机: 从科学、技术、产业等维度提出不同的哲学见解, 将原先“哲学思

维-科学知识-技术创造”的线性创新机制转变为非线性的动态集成创造, 实现多系统、多过程之间相互作用、响应、激励的协同创新格局。哲学思维跃升和产业布局变化对传统科学研究范式变革提出迫切需求, 建立适应未来发展趋势的科学研究范式成为当前的重大挑战。本研究集成哲学、科学、技术、产业之间的辩证逻辑关系, 对应数据表征、知识流动、身体耦联三重时空维度, 主动服务国家未来产业颠覆性技术创新发展战略, 建立“技性科学、智能科学、具身科学”的未来科学研究范式演进架构, 充分发挥科学研究的基础引领作用。

1. 技性科学

技性科学概念最早由巴什拉提出, 后经过奥托瓦、拉图尔的理论推演发展壮大^[87], 强调科学对技术的依赖性, 认为现代科学的研究对象是技术人工物主导的现实世界, 科学发展无法脱离技术实验的支持, 两者之间具有开放、交叉的集成融合关系^[88-90]。技性科学致力于建立基于行为和现象描述的科学的科学观, 在数据表征时空间的基础上, 利用大数据驱动的 AI 技术, 精准识别系统内部的质参量和象参量并把握两者的关联规律与集成效应, 实现复杂系统的多领域耦合建模, 推动科学原理和机制从定性描述向定量描述转变。与传统科学研究追求通用性、绝对性的理论体系不同, 技性科学坚持面向动态变化的生活世界, 拓展“科学”的概念内涵, 利用基于数字孪生和跨尺度建模仿真技术的实时优化理论框架, 探索建立具有灵活性、精确性并可快速响应的动态科学理论体系。

建立技性科学的概念模型与研究范式, 是推动传统产业转型升级的时代要求、产业走向价值链顶端的必经之路。传统制造、互联网等行业高度依赖已有科学研究成果, 缺乏自主学习、自主研究、自主创新等能力; 关键技术突破纵向空间狭窄、速度缓慢、动力不足, 核心症结在于固守科学研究驱动技术创新的旧思维, 忽视技术反哺科学的重要性, 致使科学研究成果无法与产业需求高效精准匹配。相关模式一方面迟滞了新知识、新理念、新方法过渡到技术应用层面的时效性, 另一方面使科学研究无法实时获取、分析、利用产业的最新动态而造成不必要的数据资源浪费。技性科学的研究范式基于数据表征时空间, 打破跨学科知识壁垒, 建立起科学与技术互动发展的高效协同机制, 促进理论创

新、技术转化、成果应用一体化建设，突破既定思维逻辑约束与技术边界，为后续的产业智能化变革提供坚实的物质基础与技术保障。

2. 智能科学

智能科学是AI驱动的科学研究的范式（AI4S）的凝练与概括^[91]，主张通过AI技术加速科学发现、提高研究智能化水平^[92]，强调以大数据、大算力、大模型、开放平台为核心的科研基础设施建设，突出计算机快速演进带来的性能优势，全面提升知识获取能力与更新速率^[93,94]。智能科学在知识流动时空的基础上，应用大规模数据挖掘、并行计算、分布式数据存储、分布式资源管理等技术，建立大规模知识库，提高知识整合与重用的效率。与技性科学不同，智能科学不仅强调从技术层面推动科学研究进步，而且注重技术自身迭代优化和知识累积的前馈效应，主张基于已有知识与实际情况，综合预测未来科技发展趋势，结合专家诊断进行反馈修正，确保定位科技前沿、优化科研布局、抢占发展先机。在这一过程中，已有知识经验成为科学研究的关键资源，聚类建模知识单元，精准把握当前科研领域的分布状况，进一步应用迁移学习、检索推理等技术，实现跨领域科学发现与知识重用。

相比技性科学高度依赖异构数据挖掘的研究模式，智能科学通过知识重用及时更新数据并删除低质量数据，显著提升知识迭代效率。智能科学的服务对象与目标并不局限于驱动传统产业转型升级，而是聚焦国际科技竞争前沿与国家重大战略需求中的“卡脖子”问题，实施知识创新战略^[95]，培育具有颠覆性创新能力的新兴产业；进一步地，推动建立“自下而上”“自发性涌现”的产业培育机制，将产业竞争着力点从原先的“产品功能、使用性能、市场规模”转移到“知识效能、系统智能、创新生态”，实现新产业中关键技术装备、产品和服务的“从无到有”突破，以内部技术水平跃升驱动经济持续增长，塑造独特竞争优势^[96,97]。

3. 具身科学

具身科学来自认知哲学与认知科学领域，主张人类认知行为并不局限于脑内的符号计算操作，而是涉及身体与环境的协同运动过程^[98-100]。具身科学的现象学逻辑框架由具身耦联时空提供，认为知识发现应当结合研究者的身体行为活动和实践过程，而非单一符号逻辑推理。科学研究面向的生活

世界是多状态、多场景、多时空集成的复杂动态系统，内部通常存在高度异质和异构现象；而传统符号计算表征仅能做到粗粒度的系数降维建模，不可避免地产生维数爆炸问题，所得结果多是具有极大误差的强病态方程组。具身科学集成人类综合判断和机器高效迭代的双重优势，构建基于大数据知识表征的人机协同认知系统，增强系统知识获取与科学决策能力，有效应对科学研究过程中的高风险性、不稳定性、混沌性和变异性。相比传统离散认知系统，人机协同认知系统内部具有更复杂的耦合关系，一些难以预测的科学现象及规律将在更深处被激发，为人类提供具有先进性、复杂性、巨量性特征的新知识，形成知识进化的涌现效应。进一步地，集成语言、意识、身体、环境等认知要素的身体计算技术，与行为、关系、形式等结合，实现基于认知过程的本体建模和关联建模，建立映射“人-机-环境”要素的耦合网络模型，显著提升人类认知水平。

具身科学精准对标未来产业的价值链“高地”，围绕未来制造、未来信息、未来材料、未来能源、未来空间、未来健康等重要应用领域开展研究；剖析标志性创新产品的现象学原理，突破现有技术思维局限，为新技术研发与创新设计提供颠覆性思路，为攻克具有前瞻性、变革性的具身智能化高端装备与产品服务提供基础条件。在此基础上，集成可穿戴、云计算、边缘计算等技术构建身联网络，实施集成多维生产要素的优化调度，形成局部利益与整体规划的高度统一，在持续提升产业竞争力的同时达到人机和谐共生的状态。

五、未来产业颠覆性技术创新系统

颠覆性技术创新是一种根本性创新和能力破坏型创新，也是与现有产品及制造工艺完全不同的首创，能够改变现有产业竞争结构，产生新的输/赢家，故被视为企业竞争必须执行的强制性战略^[101]。未来科学研究范式的变革，对产业发展起到显著的引导与辐射作用，也为技术创新创造良好的知识条件^[102]。本研究从系统科学的角度出发，结合未来科学研究范式，建立未来产业颠覆性技术创新系统，以支持未来产业创新发展。

(一) 颠覆性技术创新系统工程

现象学时空重构和未来科学研究范式演进架构表明, 当今科学、技术、产业发展面临的问题无法通过单一系统建模的方法解决, 而要从系统科学的视角洞察三者内部蕴含的复杂耦合关系, 据此制定可行的战略规划。未来产业颠覆性技术创新本质上是一个复杂自适应系统, 兼具复杂性、随机性和自组织特征, 通过自学习、自适应发展出特定的内部时空结构, 不断向有序状态演进过渡^[103-105]。结合钱学森系统科学思想^[59]来看, 科学、技术、产业内部必然存在可被认知和把握的共性规律。为此, 本研究采取现象学还原论的理论方法, 对技术创新过程进行解耦分析, 集成现象学时空重构与未来科学研究范式, 建立“工程应用、智能集成、具身协同”的三阶递进式颠覆性技术创新系统, 探索高质量驱动技术创新的方法与策略(见图3)。

1. 工程应用驱动的颠覆性技术创新

工程应用驱动的颠覆性技术创新基于控制论系统观, 认为系统是一个大型的集成控制机, 通过中央处理器控制信号指令的输入/输出来完成指定任务。具体地, 利用数据表征时空间内部的数据资源, 通过大规模、长时间的工程实践积累, 形成数量庞大、结构复杂、储备丰富的多源异构数据库; 在遵循产品数据交换标准(STEP)的前提下, 结合资源描述框架(RDF)、可扩展标记语言(XML)技术实现元数据规范定义, 集成规则推理技术(RBR)、模型推理技术(MBR)、实例推理技术(CBR)进行知识挖掘与经验总结; 基于技性科学的研究范式, 利用模型驱动架构(MDA)开发技术、高层次体系技术架构(HLA)进行系统建模仿真, 通过模块集成、结构调整等方式实现有限度的技术创新, 在计算机辅助设计制造技术平台(CAx)上拓展应用。

在产业层面, 此时的企业倾向采取全球中心战略, 本质上是一种高度集中的“机械结构”; 将所有的技术创新集中在中央研发部门以集中有效资源、加快研发速度, 再将创新成果由中央研发部门向整个企业扩散^[106,107]。该战略能够集中力量攻克关键技术难题, 也会对企业内其他部门的自由度、灵活性产生限制, 造成企业应对市场反应迟缓, 削弱企业的整体创新竞争力。

在哲学层面, 工程应用系统延续了传统理性主

义思想, 立足数据表征时空间, 将工程应用系统视为一个离散要素集合, 通过高性能计算机集成控制来推动技术创新。具有进步意义的是, 工程应用系统超越传统线性思维, 关注到系统内部的耦合特征与涌现效应。基于大规模工程实践, 实施长期数据监测与统计, 建立规模庞大的数据库, 为颠覆性技术创新提供“量变”基础。需要注意的是, 工程实践本身涵盖了身体活动的要素, 但受制于理性主义身心二元的思想, 海量数据中内含的隐性知识尚未被充分挖掘, 无法引起技术创新的“质变”。

整体上, 工程应用系统既是面向工程实践经验的唯象理论, 也是对技术专家、工程人员所持经验知识与领域知识的描述、总结和概括; 并未直接反映实际工程活动中复杂参数与变量之间的映射关系, 得到的是大量的增量性、能力提高型技术创新以及少量的颠覆性技术创新。

2. 智能集成驱动的颠覆性技术创新

智能集成驱动的颠覆性技术创新基于热力学系统观, 认为系统内部有数量庞大的元素且受热力学规律支配并具有一定随机性, 整体上呈现显著的自组织特征。具体地, 基于知识流动时空间, 建立以时空间知识信息为基础的存储框架, 扩展标准化知识储备, 通过文本语义匹配计算、语义标注、聚类分析, 构建针对具体产品门类的知识粒度结构与智能知识图谱。进一步地, 基于问题导向、结构表征、模型求解的设计流程, 集成“功能-行为-结构”模型与统一建模语言(UML)构建知识重用模板, 根据问题特征分解得到的约束条件进行知识检索, 进而运用网络本体语言(OWL)完成实例的本体知识建模。充分发挥智能科学的高速迭代优势, 运用多智能体系统(MAS)建模仿真思想, 集成具体实例与知识, 建立多个智能决策单元; 利用强化学习、分布式计算等技术推动自下而上的群智决策, 驱动技术创新集群涌现效应, 形成一定规模的颠覆性技术创新。

在产业层面, 此时的企业倾向采取当地为当地战略, 本质上是一种灵活自由的“有机结构”; 采用分布式并行管理, 赋予企业每个部门和分支机构以自主研发的权力, 根据本土市场需求进行技术研发^[108]。该战略可为企业获得多元信息与资源, 使技术创新具有更强的灵活度与生命力; 但缺乏集中管理, 容易导致企业内部开展重复性创新活动, 不利

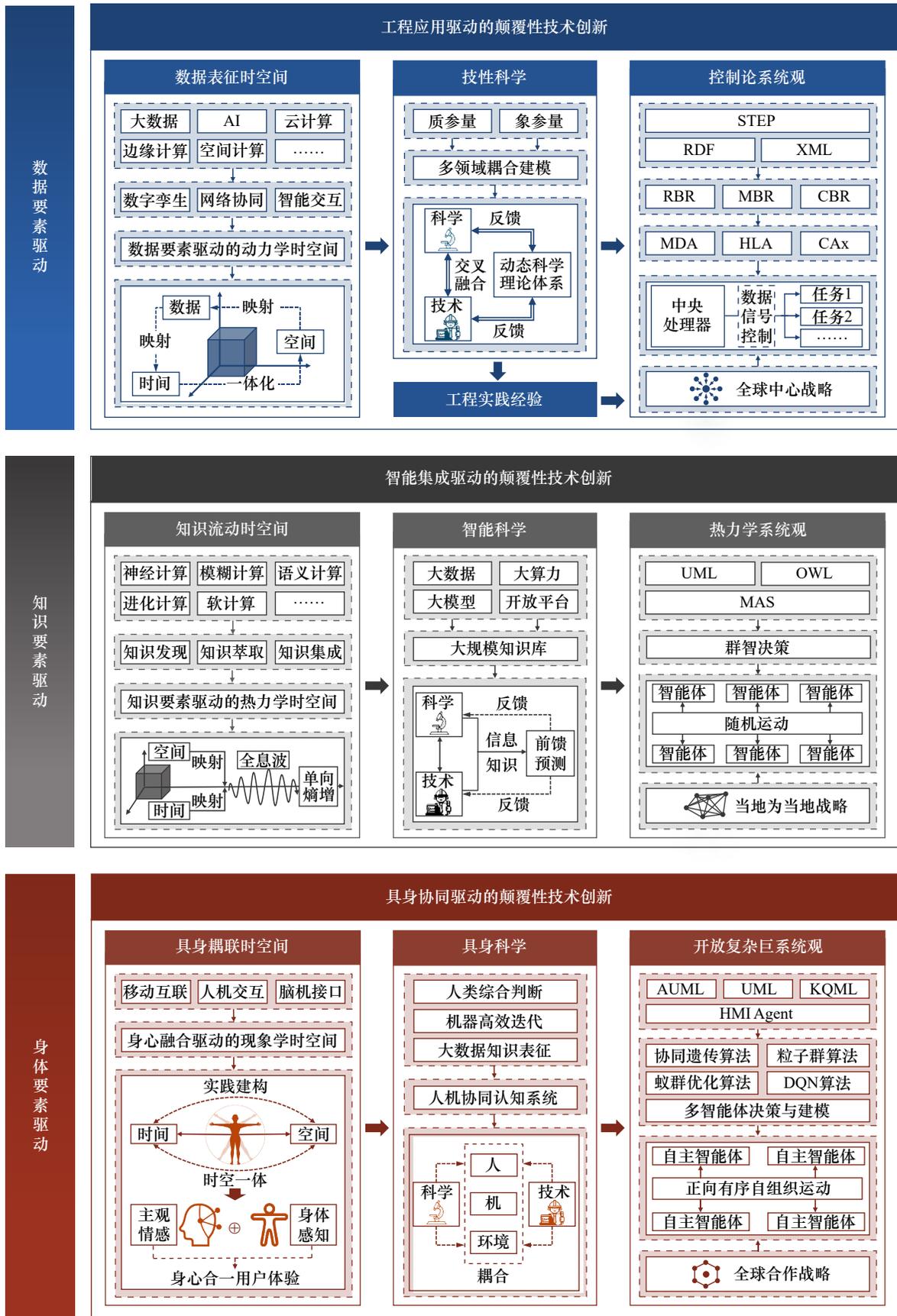


图3 未来产业颠覆性技术创新系统

注：AUML表示Agent UML；KQML表示知识查询和操作语言；HMI Agent表示包括人类主体在内的接口智能体；DQN表示深度Q网络。

于形成规模经济优势。

在哲学层面,智能集成系统受符号主义和联结主义启发,充分利用系统内部的涌现机制,通过深度学习、强化学习等算法,强化系统内部的知识获取与生成能力。联结主义思想坚持本体论的唯物主义,认为人类智能来源于脑内大量的并行神经元活动,主张模拟生物神经元结构以模仿人类智能,建立具有强大拟合能力的非线性动力学系统。然而,符号主义和联结主义均将身体要素排除在外,本质上仍属于离身的计算表征模型,对隐性知识的考虑依旧不足,无法自主获得真正的颠覆性技术创新。

整体上,智能集成系统体现未来高度动态、灵活拓展、去中心化的发展趋势,通过多智能体协同集成智力资源,以此激励技术创新。相较原先工程应用驱动的颠覆性技术创新模式,智能集成驱动的颠覆性技术创新模式得到的是成规模、成建制的颠覆性技术创新。需要注意的是,系统内部各智能体所做的仍是随机和无序的运动,属于“群氓”状态,致使创新高度依赖大规模算力资源的迭代探索,整体效率偏低。

3. 具身协同驱动的颠覆性技术创新

具身协同驱动的颠覆性技术创新基于开放复杂巨系统观,认为系统由多元主体协同构成,各主体拥有强自适应能力与强自组织特性,通过各主体相互作用达到整体自平衡状态。具体地,根据具身耦联时空间的身体实践过程和事件发生序列,开发支持分布式环境的人机交互界面与接口,构建 HMI Agent,形成链接用户与智能机器的人机交互子系统。进一步地,基于分析、设计、建模、测试等基本过程,利用 AUML、UML、KQML 等语言构建适应多智能体自主交互的底层通信协议,建立跨组织、跨平台的 HMI Agent 开发系统。基于具身科学人机协同认知系统,遵循用户需求与环境约束,集成协同遗传算法、粒子群算法、深度 Q 网络 (DQN) 算法、蚁群优化算法等多智能体决策建模与仿真算法,聚合逻辑、辩证、直觉等人类思维优势,高效率、高执行力、高准确度等机器效能优势,显著降低技术创新的成本,推动大规模颠覆性技术创新层次性、系统性、爆发性涌现。

在产业层面,此时的企业倾向采取全球合作战略,本质上是一种半开放式的“灵巧型组织结构”;创建分散化经营的研究机构来负责不同技术创新任

务,利用内部传输网络保证各机构创新活动的高度协同,使各部门高效有序地服务于企业全球战略需求^[109-111]。该战略充分运用多智能体系统决策的思想,将操作者、调度员、管理者、决策者的工作一同纳入技术创新过程,使公司在集中管理的同时而不丧失创新活力,形成具有动态张力的组织结构,强化系统对外部资源的吸取与整合能力。在此基础上,企业获取更加全面的用户信息反馈,以最大程度上满足用户对产品和服务质量的需求;基于用户使用体验来检验产品质量,实现产品连续迭代优化,形成沉浸式、交互式、多模态的高层次用户体验。

在哲学层面,具身协同系统基于现象学思想,将身体要素置于技术创新活动的核心地位。深入关注身体实践过程中蕴含的隐性知识,基于人机协同认知系统推动隐性知识的外显化表达;集成先进技术装备,放大身体的感受知觉能力,建立以身体为核心的若干子系统,使系统摆脱原先简单信息“输入-输出”模式,建立多元开放的多模态实时交互机制。进一步地,原先基于符号计算表征与数量堆叠的涌现过程,本质上仍是已有知识的随机概率组合,而身体要素的介入将推动无机系统向有机复合系统跃进,使系统内部的知识涌现机制发生质的飞跃,促进培育全新的知识,为颠覆性技术创新提供充沛的灵感启发。

(二) “哲学-科学-技术-产业”四元现象结构

颠覆性技术创新立足现象学的逻辑思维方法,将时空间建立在人类主体的实践活动上,由此将研究聚焦于身体,构建具身化的时空间模型。进一步地,现象学理论超越了理性主义、实证主义、分析哲学等强逻辑框架,强调完备系统运行过程中不可或缺的身体要素,建立跨区间、多场景、高效能的人机协同系统,从本源上驱动颠覆性技术创新。

本研究进一步凝练技术创新战略的“哲学-科学-技术-产业”四元现象结构。其中,哲学作为创新的思想源头,是整体战略布局的基础;以现象学为基底,溯源技术哲学脉络导向,结合理性主义、实证主义、分析哲学、语言学的逻辑推理方法,深层次把握技术创新活动蕴含的哲学规律。科学和技术是哲学思想的具象化、精益化凝练,均建立在哲学知识挖掘与重用的基础上;双向驱动、互

相促进，同步推进显/隐性知识增益，构建完备的知识网络，为实现真正的颠覆性创新提供科学依据与理论基础。

产业是整体战略服务的最终对象，通过大量颠覆性技术创新占据国际竞争优势地位、构筑非对称竞争优势，对科技创新过程给予连续性反馈，形成覆盖全局的良性循环态势。在此基础上，未来产业建设更好地服务广大用户群体，基于具身耦联时空提供定制化、知识型服务，将原先的用户体验从单一的产品感官刺激转变为基于时空场景的立体层次体验，兼顾身体感知与主观情感，创造身心合一的高质量用户体验。

（三）“新质-新知”工程创新战略

围绕技术哲学、技术现象学前沿观点，面向积极发展未来产业的重大战略背景与民生需求，集成时空现象学概念和显/隐性知识结构，进一步构建“新质-新知”工程创新战略（见图4）。“新质-新知”工程创新战略本质上是人类主体的实践活动为核心，构建以时空现象学为基准的先进知识工程。集成显/隐性知识融合的新知识，瞄准未来产业颠覆性技术创新的战略需求，实现新知识与新质生产力之间的良性互动，全面提升国家创新竞争力。在具体实施过程中，以新原理、新概念、新思维、新方法为落脚点，以颠覆性技术创新为核心，

以新质生产力增长需求为牵引，为我国未来产业创新发展提供理论支撑。

新质生产力是以未来产业、战略性新兴产业为主要载体的先进生产力质态，可视为人类社会第三次系统性新质化的科学写照^[112]。“新质”区别于“旧质”的最主要特征是创新，超越传统跟踪模仿的边际创新模式，主张创造引领的颠覆性创新模式。创新的本质是以知识为基础的进化过程，核心目标是通过实践获取新知识^[113-115]，因而实施工程创新战略的关键是推动建设前瞻性、引领性的新一代先进知识工程^[42]。传统HPS、CPS缺乏对人类主体的充分考量，遗漏身体与实践要素，导致系统无法掌握完备知识结构，只能在拥有部分显性知识的基础上进行增量性创新。时空现象学观点认为，人类主体实践活动是构建时空的前置条件，显/隐性知识是时空间维度下经验、概念、技能累积延展的结果。为此，人作为身心合一的完整行为主体，通过身体的连续时空间运动获取具有强感/知觉特征的隐性知识，采取抽象逻辑思维获取可计算表征的显性知识；集成数字化、智能化先进技术，构建兼具显/隐性知识的完备知识网络，形成具有创新赋能效应的“新知识”。“新知识”直接作用于未来产业技术创新过程，通过大规模颠覆性技术创新，推动产业高质量、高层次发展，培育壮大新质生产力；新质生产力则进一步拓展人类实践活动范畴、规模和效能，获取更多的“新知识”，形成“新质-新知”良性循环过程。在这一过程中，人类主体的体验不再局限于主观意识层面的需求满足，而是集成身体知觉与主观认知的多层次、多方位结构映射，更加细致、逼真地还原真实用户需求，拓展更为广阔的市场空间，从而构成产业发展的强劲动力，牵引新技术、新产品、新服务爆发式涌现。

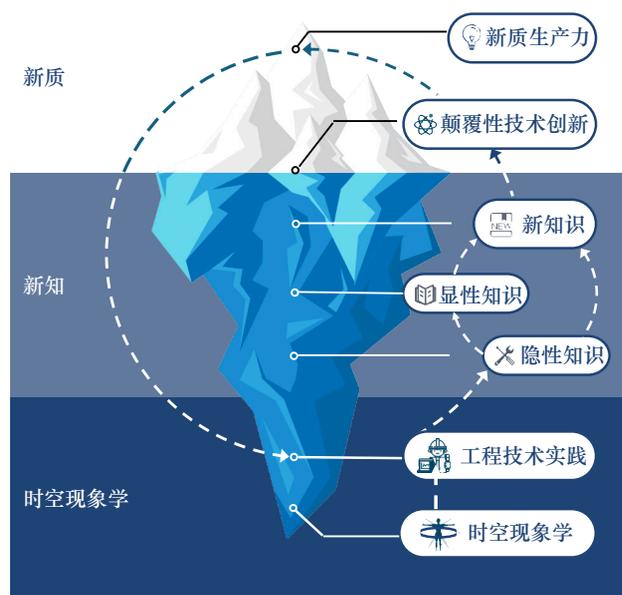


图4 “新质-新知”工程创新战略

六、结语

颠覆性技术创新作为未来产业发展的战略核心，是培育新质生产力的关键因素；本身具有显著的不确定性与不透明性，科学把握其内在规律较为困难，构成高质量发展未来产业亟待解决的重大难题之一。本文基于现象学还原论的透视方法，深入剖析科学研究与技术创新的内在关联，挖掘颠覆性技术创新的特征规律与内在机理，发现传统动力学

时空观的内在缺陷；基于时空现象学原理，展开“数据表征、知识流动、具身耦联”的时空重构，建立“技性科学、智能科学、具身科学”的未来科学研究范式演进架构；结合系统科学思想，建立“工程应用、智能集成、具身协同”的颠覆性技术创新系统，“新质—新知”工程创新战略，为高质量推动未来产业发展研究提供理论参照。

还可从以下三方面出发，进一步推动未来产业颠覆性技术创新。① 成立专门工作机构，增强发展组织能力。在发达国家普遍设立颠覆性技术创新管理机构以加强研发支持力度的背景下，可成立管理部门牵头、产业联盟作为主要载体的国家未来产业颠覆性技术创新工作组织，聘请各行业的资深专家学者提供专业咨询服务，发挥举国体制优势，精准推进先进技术培育工作。② 建立和健全服务保障机制。把握“技性科学、智能科学、具身科学”的科研要素需求，构建包括地方管理部门、科技中介机构、行业学（协）会在内的网络化管理体系，实现创新资源的动态优化配置。实施“新质—新知”工程创新战略，推动大模型平台、人因数据库、产业知识库等基础设施建设，为科学研究与技术创新提供坚实保障。③ 引导企业转型，提高技术创新能力。结合“工程应用、智能集成、具身协同”的颠覆性技术创新系统，设立差异化的税收减免政策，激励企业采用先进战略运营模式并加大科技研发投入。合理开展全产业链纵向整合，健全集成软/硬件设备租赁、数据技术共享的公共服务平台，显著降低企业技术研发的门槛与成本。

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: March 26, 2024; **Revised date:** May 21, 2024

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 Jiangxi’s Innovative Design Industry in the Age of Digital Intelligence” (2022-03JXZT-05)

参考文献

[1] 陈劲, 朱子钦. 未来产业: 引领创新的战略布局 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2022.

- Chen J, Zhu Z Q. Future industry: Leading the strategic layout of innovation [M]. Beijing: China Machine Press, 2022.
- [2] 库兹韦尔. 奇点临近 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011. Kurzweil R. The singularity is near: When humans transcend biology [M]. Beijing: China Machine Press, 2011.
- [3] 中共中央文献研究室. 习近平关于科技创新论述摘编 [M]. 北京: 中央文献出版社, 2016. Literature Research Office of the CPC Central Committee. Excerpts from Xi Jinping’s discourse on scientific and technological innovation [M]. Beijing: Central Literary Publishing House, 2016.
- [4] 中国社会科学院工业经济研究所课题组. 未来产业: 开辟经济发展新领域新赛道 [M]. 北京: 中国发展出版社, 2023. Research Group of the Institute of Industrial Economics of CASS. Future industries: Open up new areas and new tracks for economic development [M]. Beijing: China Development Press, 2023.
- [5] 彭健, 韩健. 未来产业发展: 全球模式与中国路径 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2023. Peng J, Han J. Future industrial development: Global model and China path [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2023.
- [6] Stearns P N. The industrial revolution in world history [M]. London: Routledge, 2020.
- [7] 王世泰, 余达淮. 习近平关于新质生产力重要论述的生成渊源、丰富内涵与实践要求 [J]. 中共杭州市委党校学报, 2024 (3): 67–76. Wang S T, Yu D H. The origin, rich connotation, and practical requirements of Xi Jinping’s important discourse on the emergence of new production forces [J]. Journal of the Party School of CPC Hangzhou, 2024 (3): 67–76.
- [8] 李晓华. 新质生产力的主要特征与形成机制 [J]. 人民论坛, 2023 (21): 15–17. Li X H. The main characteristics and formation mechanism of new productive forces [J]. People’s Tribune, 2023 (21): 15–17.
- [9] 李政, 崔慧永. 基于历史唯物主义视域的新质生产力: 内涵、形成条件与有效路径 [J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2024, 30(1): 129–144. Li Z, Cui H Y. On new quality productivity from the perspective of historical materialism: Connotation, formation conditions and effective paths [J]. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 2024, 30(1): 129–144.
- [10] 陈凯华, 冯卓, 康瑾, 等. 我国未来产业科技发展战略选择 [J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(10): 1459–1467. Chen K H, Feng Z, Kang J, et al. Strategy choices of science and technology development of China’s industries of future [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(10): 1459–1467.
- [11] 布什. 科学: 无尽的前沿 [M]. 北京: 中信出版集团, 2021. Bush V. Science: Endless frontiers [M]. Beijing: CITIC Press Group, 2021.
- [12] 托夫勒. 预测与前提——托夫勒未来对话录 [M]. 北京: 国际文化出版公司, 1984. Toffler A. Prediction and premise: Toffler’s dialogue on the future [M]. Beijing: International Cultural Publishing Company, 1984.
- [13] Ivanov D. The industry 5.0 framework: Viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspec-

- tives [J]. *International Journal of Production Research*, 2023, 61(5): 1683–1695.
- [14] 汪江桦, 汤建国, 韩莉英. 新兴技术未来产业影响力之作用机理研究 [J]. *科技管理研究*, 2014, 34(17): 78–81.
Wang J H, Tang J G, Han L Y. The mechanism of the future influence of emerging technologies [J]. *Science and Technology Management Research*, 2014, 34(17): 78–81.
- [15] Wang M X, Wang Y X, Mardani A. Empirical analysis of the influencing factors of knowledge sharing in industrial technology innovation strategic alliances [J]. *Journal of Business Research*, 2023, 157: 113635.
- [16] Koohang A, Nord J H, Ooi K B, et al. Shaping the metaverse into reality: A holistic multidisciplinary understanding of opportunities, challenges, and avenues for future investigation [J]. *Journal of Computer Information Systems*, 2023, 63(3): 735–765.
- [17] Lee J, Chua P C, Chen L Q, et al. Key enabling technologies for smart factory in automotive industry: Status and applications [J]. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Smart Technology*, 2023, 1(1): 93–105.
- [18] 王小林, 谢妮芸. 未来产业: 内涵特征、组织变革与生态建构 [J]. *社会科学辑刊*, 2023 (6): 173–182.
Wang X L, Xie N Y. Future industry: Connotation, organizational change and ecological construction [J]. *Social Science Journal*, 2023 (6): 173–182.
- [19] 中国社会科学院工业经济研究所未来产业研究组. 影响未来的新科技新产业 [M]. 北京: 中信出版集团, 2017.
Future Industries Research Group of the Institute of Industrial Economics of CASS. *New technologies and industries affecting the future* [M]. Beijing: CITIC Press Group, 2017.
- [20] Miki M, Minoda Y. PRODACOM: Property database for advanced composite materials for future industries [J]. *Science & Technology*, 1990: 212.
- [21] 李军凯, 高菲, 龚轶. 构建面向未来产业的创新生态系统: 结构框架与实现路径 [J]. *中国科学院院刊*, 2023, 38(6): 887–894.
Li J K, Gao F, Gong Y. Innovation ecosystem of future industry: Structure and path [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2023, 38(6): 887–894.
- [22] Kong X. Industries of the future: Top-level design and action roadmap by the US government [J]. *International Journal of Mathematics and Systems Science*, 2024, 6(6): 67–69.
- [23] 周波, 冷伏海, 李宏, 等. 世界主要国家未来产业发展部署与启示 [J]. *中国科学院院刊*, 2021, 36(11): 1337–1347.
Zhou B, Leng F H, Li H, et al. Development plans and enlightenments of future industry of major countries in the world [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2021, 36(11): 1337–1347.
- [24] Castree N. Marxism, capitalism, and the production of nature [J]. *Social Nature: Theory, Practice, and Politics*, 2001: 189–207.
- [25] 《马克思主义政治经济学概论》编写组. 马克思主义政治经济学概论 [M]. 北京: 人民出版社, 2011.
Editorial Group of *Introduction to Marxist Political Economy*. *Introduction to Marxist political economy* [M]. Beijing: People's Publishing House, 2011.
- [26] Ojha S K. Management of productivity [J]. *Management*, 2014, 1(2): 1–6.
- [27] 周文, 许凌云. 论新质生产力: 内涵特征与重要着力点 [J]. *改革*, 2023 (10): 1–13.
Zhou W, Xu L Y. On new quality productivity: Connotative characteristics and important focus [J]. *Reform*, 2023 (10): 1–13.
- [28] 张夏恒, 肖林. 数字化转型赋能新质生产力涌现: 逻辑框架、现存问题与优化策略 [J]. *学术界*, 2024 (1): 73–85.
Zhang X H, Xiao L. Digital transformation empowers the emergence of new productivity: Logical framework, existing problems and optimization strategies [J]. *Academics*, 2024 (1): 73–85.
- [29] 沈坤荣, 金童谣, 赵倩. 以新质生产力赋能高质量发展 [J]. *南京社会科学*, 2024 (1): 37–42.
Shen K R, Jin T Y, Zhao Q. New quality productivity enables high-quality development [J]. *Nanjing Social Sciences*, 2024 (1): 37–42.
- [30] 曲冠楠, 陈凯华, 陈劲. 颠覆性技术创新: 理论源起、整合框架与发展前瞻 [J]. *科研管理*, 2023, 44(9): 1–9.
Qu G N, Chen K H, Chen J. Disruptive technovation: Origins, integrated framework, and prospects [J]. *Science Research Management*, 2023, 44(9): 1–9.
- [31] Bower J L, Christensen C M. *Disruptive technologies: Catching the wave* [M]. Boston: Harvard Business School Press, 1999.
- [32] Christensen C M. The ongoing process of building a theory of disruption [J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2006, 23 (1): 39–55.
- [33] Christensen C, Raynor M E, McDonald R. *Disruptive innovation* [M]. Brighton: Harvard Business Review, 2013.
- [34] Christensen C M, McDonald R, Altman E J, et al. Disruptive innovation: An intellectual history and directions for future research [J]. *Journal of Management Studies*, 2018, 55(7): 1043–1078.
- [35] Danneels E. Disruptive technology reconsidered: A critique and research agenda [J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2004, 21(4): 246–258.
- [36] 曹晓阳, 魏永静, 李莉, 等. DARPA 的颠覆性技术创新及其启示 [J]. *中国工程科学*, 2018, 20(6): 122–128.
Cao X Y, Wei Y J, Li L, et al. Enlightenment of disruptive technological innovation of DARPA [J]. *Strategic Study of CAE*, 2018, 20(6): 122–128.
- [37] Reed S G, Van Atta R H, Deitchman S J. *DARPA technical accomplishments: An historical review of selected DARPA projects* [M]. Alexandria: Institute for Defense Analyses, 1991.
- [38] 曹晓阳. 通过重大颠覆性技术把握产业未来、抓住未来产业 [J]. *科技中国*, 2023 (8): 3.
Cao X Y. Grasp the future of the industry and seize the future industry through major disruptive technologies [J]. *Scitech in China*, 2023 (8): 3.
- [39] 路甬祥. 共创共享绿色可持续发展时代的思考 [J]. *工程研究——跨学科视野中的工程*, 2023, 15(6): 461–463.
Lu Y X. Thoughts on the new era of co-created and shared green sustainable development [J]. *Journal of Engineering Studies*, 2023, 15(6): 461–463.
- [40] 路甬祥, 孙守迁, 张克俊. 创新设计发展战略研究 [J]. *机械设计*, 2019, 36(2): 1–4.
Lu Y X, Sun S Q, Zhang K J. Research on development strategy of innovation design [J]. *Journal of Machine Design*, 2019, 36(2):

- 1–4.
- [41] Liu Z M, Wang J. Human-cyber-physical systems: Concepts, challenges, and research opportunities [J]. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 2020, 21(11): 1535–1553.
- [42] 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): 624–636.
- [43] Polanyi M. *The study of man: The Lindsay memorial lectures 1958* [M]. London: Routledge, 2013.
- [44] Polanyi M. *Personal knowledge* [M]. London: Routledge, 2012.
- [45] Christensen C M. *The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail* [M]. Boston: Harvard Business School Press, 1997.
- [46] Zhou J, Li P G, Zhou Y H, et al. Toward new-generation intelligent manufacturing [J]. *Engineering*, 2018, 4(1): 11–20.
- [47] Don I. *Technology and the lifeworld: From garden to earth* [M]. Bloomington: Indiana University Press, 1990.
- [48] Evans N, Ralston B, Broderick A. Strategic thinking about disruptive technologies [J]. *Strategy & Leadership*, 2009, 37(1): 23–30.
- [49] Hall J K, Martin M J C. Disruptive technologies, stakeholders and the innovation value-added chain: A framework for evaluating radical technology development [J]. *R&D Management*, 2005, 35(3): 273–284.
- [50] Buchanan R. Wicked problems in design thinking [J]. *Design Issues*, 1992, 8(2): 5.
- [51] Gabbay D, Thagard P, Woods J. *Philosophy of Technology and Engineering Sciences* [M]. Amsterdam: Elsevier, 2009.
- [52] Lindberg D C. *The beginnings of Western science: The European scientific tradition in philosophical, religious, and institutional context, prehistory to AD 1450* [M]. Chicago: University of Chicago Press, 2010.
- [53] Lindberg D C, Westman R S. *Reappraisals of the scientific revolution* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- [54] Bunge M. Technology as applied science [J]. *Technology and Culture*, 1966, 7(3): 329.
- [55] Schäfer W. Finalization in science: The social orientation of scientific progress [M]. Berlin: Springer Science & Business Media, 2012.
- [56] Lelas S. Science as technology [J]. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 1993, 44(3): 423–442.
- [57] Lelas S. *Science and modernity* [M]. Dordrecht: Springer Netherlands, 2000.
- [58] Channell D F. *Technological thinking in science* [M]. Dordrecht: Springer, 2015.
- [59] 钱学森. 论系统工程 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2007.
Qian X S. *On systems engineering* [M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2007.
- [60] 牛顿. 自然哲学的数学原理 [M]. 北京: 商务印书馆, 2006.
Newton I. *Philosophie naturalis principia mathematica* [M]. Beijing: The Commercial Press, 2006.
- [61] 牛顿. 牛顿自然哲学著作选 [M]. 上海: 上海译文出版社, 2001.
Newton I. *Selected works of Newton's natural philosophy* [M]. Shanghai: Shanghai Translation Publishing House, 2001.
- [62] 牛顿. 论宇宙的体系 [M]. 北京: 商务印书馆, 2012.
Newton I. *On the system of the universe* [M]. Beijing: The Commercial Press, 2012.
- [63] 李继宗, 李曙华. 演化的时间与时空结构——内部时间初探 [J]. *中国社会科学*, 1989 (2): 43–57.
Li J Z, Li S H. Time and spatio-temporal structure of evolution: A preliminary study of internal time [J]. *Social Sciences in China*, 1989 (2): 43–57.
- [64] Disalle R. *Newton's philosophical analysis of space and time* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [65] 爱因斯坦. 狭义与广义相对论浅说 [M]. 北京: 商务印书馆, 2013.
Einstein A. *Shallow theory of special and general relativity* [M]. Beijing: The Commercial Press, 2013.
- [66] 爱因斯坦. 爱因斯坦文集 [M]. 北京: 商务印书馆, 2010.
Einstein A. *Einstein's collected works* [M]. Beijing: The Commercial Press, 2010.
- [67] 爱因斯坦. 相对论的意义 [M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2001.
Einstein A. *Significance of relativity* [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Education Press, 2001.
- [68] Dreyfus H L. *What computers still can't do: A critique of artificial reason* [M]. Cambridge: MIT press, 1992.
- [69] 普里戈金. 从存在到演化 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2007.
Prigogine I. *From existence to evolution* [M]. Beijing: Peking University Press, 2007.
- [70] Moran D. *Introduction to phenomenology* [M]. London: Routledge, 2002.
- [71] Bergson H. *Time and free will* [M]. Chicago: E-artnow, 2018.
- [72] Husserl E. *The phenomenology of internal time-consciousness* [M]. Terre Haute: Indiana University Press, 2019.
- [73] Heidegger M. *Being and time* [M]. New York: Suny Press, 2010.
- [74] Heidegger M. *Spaces of visual culture* [M]. London: Routledge, 2006.
- [75] Merleau-Ponty M. *Phenomenology of perception* [M]. London: Routledge, 2013.
- [76] Wang B C, Zhou H Y, Li X Y, et al. Human digital twin in the context of industry 5.0 [J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2024, 85: 102626.
- [77] Gabbay D, Thagard P, Woods J. *General philosophy of science* [M]. Amsterdam: Elsevier, 2007.
- [78] 波普尔. 科学发现的逻辑 [M]. 北京: 科学出版社, 1986.
Popper K. *The logic of scientific discovery* [M]. Beijing: Science Press, 1986.
- [79] 波普尔. 客观知识: 一个进化论的研究 [M]. 上海: 上海译文出版社, 2015.
Popper K. *Objective knowledge: A study of evolution* [M]. Shanghai: Shanghai Translation Publishing House, 2015.
- [80] 司马贺. 人类的认知思维的信息加工理论 [M]. 北京: 科学出版社, 1986.
Simon H A. *Information processing theory of human cognitive thinking* [M]. Beijing: Science Press, 1986.
- [81] Nonaka I. A dynamic theory of organizational knowledge creation [J]. *Organization Science*, 1994, 5(1): 14–37.
- [82] 贝斯特, 科尔纳. 后现代转向 [M]. 南京: 南京大学出版社, 2002.
Best S, Kellner D. *The postmodern turn* [M]. Nanjing: Nanjing

- University Press, 2002.
- [83] 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部. 机械工程学科发展战略报告(2021—2035) [M]. 北京: 科学出版社, 2021.
Department of Engineering and Materials Science, National Natural Science Foundation of China. Mechanical engineering discipline development strategy report (2021—2035) [M]. Beijing: Science Press, 2021.
- [84] 刘樑, 张雨涵, 李梦悦, 等. 大科学工程创新体系建构研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(5): 177–186.
Liu L, Zhang Y H, Li M Y, et al. Construction of innovation system for major science projects [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(5): 177–186.
- [85] Shapin S. The scientific revolution [M]. Chicago: University of Chicago Press, 2018.
- [86] 库恩. 科学革命的结构 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2012.
Kuhn T S. The structure of scientific revolutions [M]. Beijing: Peking University Press, 2012.
- [87] 刘鹏. “技性科学”的思想史审视 [J]. 南京社会科学, 2021 (12): 27–34.
Liu P. On technoscience from the perspective of intellectual history [J]. Nanjing Journal of Social Sciences, 2021 (12): 27–34.
- [88] 巴什拉. 科学精神的形成 [M]. 南京: 江苏教育出版社, 2006.
Bachelard G. The formation of scientific spirit [M]. Nanjing: Jiangsu Education Press, 2006.
- [89] Latour B. Reassembling the social: An introduction to actor-network-theory [M]. Oxford: Oxford University Press, 2007.
- [90] Latour B. Science in action: How to follow scientists and engineers through society [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1987.
- [91] 王飞跃, 缪青海. 人工智能驱动的科学新范式: 从AI4S到智能科学 [J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(4): 536–540.
Wang F Y, Miao Q H. Novel paradigm for AI-driven scientific research: From AI4S to intelligent science [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(4): 536–540.
- [92] Wang L H. From intelligence science to intelligent manufacturing [J]. Engineering, 2019, 5(4): 615–618.
- [93] 李国杰. 智能化科研(AI4R): 第五科研范式 [J]. 中国科学院院刊, 2024, 39(1): 1–9.
Li G J. AI4R: The fifth scientific research paradigm [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(1): 1–9.
- [94] 杨小康, 许岩岩, 陈露, 等. AI for Science: 智能化科学设施变革基础研究 [J]. 中国科学院院刊, 2024, 39(1): 59–69.
Yang X K, Xu Y Y, Chen L, et al. AI for Science: AI enabled scientific facility transforms fundamental research [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(1): 59–69.
- [95] 艾米顿. 创新高速公路 [M]. 北京: 知识产权出版社, 2005.
Amidon D M. Innovation highway [M]. Beijing: Intellectual Property Publishing House, 2005.
- [96] 波特. 国家竞争优势 [M]. 北京: 中信出版社, 2012.
Porter M E. Competitive advantage of nations [M]. Beijing: CITIC Press, 2012.
- [97] 阿吉翁. 内生增长理论 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2007.
Aghion P. Endogenous growth theory [M]. Beijing: Peking University Press, 2007.
- [98] Costall A. The hope of a radically embodied science [J]. Behavior and Philosophy, 2011, 39/40: 345–353.
- [99] Clark A. An embodied cognitive science? [J]. Trends in Cognitive Sciences, 1999, 3(9): 345–351.
- [100] Chemero A. Radical embodied cognitive science [J]. Review of General Psychology, 2013, 17(2): 145–150.
- [101] Schilling M A. Strategic management of technological innovation [M]. New York: McGraw-Hill, 2017.
- [102] Undheim T A. Future tech: How to capture value from disruptive industry trends [M]. London: Kogan Page Publishers, 2021.
- [103] Nagy S, Kobielieva A. Theoretical and methodological essence of innovative technology [J]. MIND Journal, 2022 (12): 1–12.
- [104] Ziman J M, Ziman J. Technological innovation as an evolutionary process [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [105] 曹琦. 复杂自适应系统联合仿真建模理论及应用 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2012.
Cao Q. Theory and application of joint simulation modeling for complex adaptive systems [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2012.
- [106] Ghoshal S. Global strategy: An organizing framework [J]. Strategic Management Journal, 1987, 8(5): 425–440.
- [107] Rugman A M. Research and development by multinational and domestic firms in Canada [J]. Canadian Public Policy, 1981, 7(4): 604.
- [108] Cantwell J, Iammarino S. MNCs, technological innovation and regional systems in the EU: Some evidence in the Italian case [J]. International Journal of the Economics of Business, 1998, 5(3): 383–408.
- [109] Richtnér A, Rognes J. Organizing R&D in a global environment [J]. European Journal of Innovation Management, 2008, 11(1): 125–141.
- [110] Zou S M, Tamer C S. Global strategy: A review and an integrated conceptual framework [J]. European Journal of Marketing, 1996, 30(1): 52–69.
- [111] Hassan S S, Craft S H. Linking global market segmentation decisions with strategic positioning options [J]. Journal of Consumer Marketing, 2005, 22(2): 81–89.
- [112] 蒋永穆, 乔张媛. 新质生产力: 逻辑、内涵及路径 [J]. 社会科学研究, 2024 (1): 10–18, 211.
Jiang Y M, Qiao Z Y. New quality productivity: Logic, connotation and path [J]. Social Science Research, 2024 (1): 10–18, 211.
- [113] Quintane E, Mitch C R, Sebastian R B, et al. Innovation as a knowledge-based outcome [J]. Journal of Knowledge Management, 2011, 15(6): 928–947.
- [114] Howells J. Tacit knowledge [J]. Technology Analysis & Strategic Management, 1996, 8(2): 91–106.
- [115] Mascitelli R. From experience: Harnessing tacit knowledge to achieve breakthrough innovation [J]. Journal of Product Innovation Management, 2000, 17(3): 179–193.