

智能化时代的物联网科技与产业发展分析及策略

朱洪波¹, 尹浩²

(1. 南京邮电大学, 江苏 南京 210003; 2. 中国人民解放军军事科学院, 北京 100141)

摘要: 物联网已经成为推动智能化时代发展的重要驱动力。分析了工业革命背景下物联网的技术思想与发展演进, 对国内外物联网的发展状态及趋势进行了分析, 研究提出了智能化时代我国物联网科技产业的战略发展趋势与科技创新的重点研究方向; 在分析物联网科技产业发展面临的科学问题和重大难题的基础上, 提出了对物联网科技产业的分析思考与发展策略。

关键词: 物联网技术思想与理念; 物联网发展状态与趋势; 物联网科技产业发展方向; 智能化新基建; 新型网络基础设施

中图分类号: TN92

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-3750.2025.00523

Analysis and strategies of IoT technology and industrial development in the intelligent era

ZHU Hongbo¹, YIN Hao²

1. Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China

2. Academy of Military Sciences, Beijing 100141, China

Abstract: The Internet of things (IoT) has emerged as a significant driving force behind the development of the intelligent era. The technological concepts and evolution of IoT within the context of the industrial revolution were analyzed, its current global status and trends were examined, and strategic development directions and key research priorities for technological innovation in China's IoT sector during this intelligent era were identified. Based on an analysis of the scientific challenges and major issues facing the IoT industry, analytical insights and development strategies for the advancement of IoT technology and industry were proposed.

Key words: IoT technological concepts and philosophy, IoT development status and trend, IoT technology and industry development direction, intelligent new infrastructure construction, new-type network infrastructure

0 引言

2025年是国际电信联盟(ITU)提出“物联网(IoT, Internet of things)”概念的二十周年^[1-2]。20年来,物联网已从物体与网络的联接到基础连接网络,逐渐演进为融合感知、通信、计算、控制与智能服务的泛在智能系统,正在加速从“万物互联”

迈向“万物智联”,成为重构数字基础设施、赋能产业升级与提升社会治理能力的重要引擎。智能化时代的到来不仅推动了物联网万物“连接”的扩张,更是生产工具与基础设施形态的重构并且赋予新的智能化生命,通过“通-感-算-控”等多域协同和新型基础设施的发展建设,驱动人类社会生态从信息化向智能化的跃迁,并为“数字中国”战略

收稿日期: 2025-08-30; 修回日期: 2025-09-18

通信作者: 朱洪波, zhb@njupt.edu.cn; 尹浩, yinhao@cashq.ac.cn

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 92367302)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (No. 92367302)

提供了新型智能化网络基础设施这一物联网“新质生产力”的核心载体。

(1) 物联网的基本理念与技术思想

在物联网科技与产业的推动下，人类社会正从信息化步入智能化发展阶段，此举亦引发了国家信息技术与产业结构的深度重构。

物联网的基本理念是将网络基础设施从以人作为联接对象和服务目标，转变扩展为以包括人、机、物在内的所有物体作为联接对象和服务目标^[1]。物联网的技术思想依托信息网络基础设施，将位于相关信息服务空间（包括工业、交通、农业、城市、社会生活、医疗健康等各类服务环境空间）中的人、机、物等所有物端对象（包括实体和虚拟对象）都按需接入和协同互联进行信息传输与交互，从而实现满足相关服务环境业务需求的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理等，并且进行类人化的知识学习、分析处理、自动决策和行为控制，最终完成满足业务需求的智能化生产和服务。

在复杂的物联网服务环境中，传统信息网络基础设施从发信端到收信端进行信息传输和交互的网络能力，已经难以满足物联网大规模终端按需接入与协同互联的智能化主动服务场景需求，支撑社会发展的传统网络基础设施正面临一场智能化的工业革命。物联网将大幅改变人类社会传统的生活与工作空间环境，把人们带进智能化世界^[1]。

作为全球新一轮科技与产业变革的关键引擎，物联网已从早期的理念先行、应用试点，步入技术驱动与产业协同的纵深发展阶段，并加速转化为现实生产力。一般而言，影响生产工具的技术创新带来的是社会发展的量变，而物联网则通过构建智能化的新型基础设施，从根本上重塑生产组织方式，从而推动社会实现质变的飞跃。

新型智能化网络基础设施建设将成为物联网驱动“数字中国”发展的重要策略和目标任务。

(2) 新一轮工业革命背景下的智能物联网与新质生产力

纵观世界工业发展史，每一次工业革命发展的起源和核心驱动力首先是基础设施即生产工具的革命，其中工业 1.0 时代是作为新型基础设施的生产工具蒸汽机的出现推动了蒸汽机工业革命，工业 2.0 时代是作为新型基础设施的生产工具发电机的出现推动了电气化工业革命，工业 3.0 时代则是作为新

型基础设施的生产工具信息网络和计算机的出现推动了信息化工业革命。因此在以物联网场景下万物按需协同互联为标志的工业 4.0 智能化时代，作为新质生产力的新型生产工具即智能化新型基础设施的应运而生将推动新一轮智能化工业革命。

习近平总书记于 2023 年 9 月首次提出了新质生产力的新概念^[2]，对物联网的智能化基础设施建设赋予了新的内涵和定义。

劳动资料、劳动者和劳动对象三者交互作用形成生产力，是生产力的三大基本要素。在大规模人、机、物等生产要素要求按需协同互联的物联网智能化应用场景中，关于生产力的传统概念和内涵需要按照新质生产力被重新理解和定义。

新型智能化基础设施成为新型劳动资料即生产工具，是在劳动过程中作用于劳动对象即人、机、物等生产要素的主要设施、条件和方法。新型劳动资料中起决定作用的是新型生产工具，包括实体性生产工具（如智能化网络基础设施）和非实体性生产工具（如算力基础设施），新型生产工具是评价、决定和形成新质生产力的主要因素。

人、机、物等生产要素成为新型生产工具的作用主体和服务目标。在传统生产力中劳动者是生产力的第一要素，人是生产工具的劳动主体，即使用者或利用者和服务者，是最活跃和最具决定意义的因素；但在物联网场景下，新质生产力要求包括人、机、物在内的生产全要素等网络设施联接对象成为新型生产工具即智能化基础设施的劳动主体和服务目标。

信息数据和新概念的超级物质成为新型生产工具的劳动对象。在物联网场景中，劳动对象是劳动主体利用生产工具即网络基础设施把自己的劳动作用其上的一切物质资料，包括没有经过处理的和经过处理的信息数据与超级物质都成为新型生产工具的作用对象和必不可少的物质基础。

1 物联网科技产业的发展状态与分析

1.1 全球物联网科技产业发展现状及趋势

过去十年间，物联网在全球范围内迅速发展，工业互联网、智慧城市、智能制造和智能家居等重点领域持续拓展。根据全球知名物联网研究机构 IoT Analytics 的数据，2020 年全球物联网设备（包括智能家居设备、联网工业设备等）的网络终端连

接数已超过117亿，首次超过非物联网设备（如智能手机和笔记本计算机），预计全球物联网市场规模年复合增长率持续扩大。未来，物联网产业将逐步由消费物联网连接主导转向以产业物联网连接为主导。在智慧城市、智慧交通、智慧医疗等建设进程中，对大规模机器类通信的需求将显著增加，每平方千米连接数预计将达到百万量级，2015—2025年物联网与非物联网终端网络连接数对比及预测^[6]如图1所示。

1.1.1 欧盟物联网科技产业

近几年欧盟在推动物联网与边缘计算发展方面持续发力，已从政策铺设进入新一轮战略深化阶段。自2020年起，欧盟先后举办多场“物联网与边缘计算”战略研讨会，启动了下一代物联网的战略讨论，并于2022年1月发布了《欧盟物联网研究、创新和部署优先事项白皮书》，为欧洲未来的物联网发展设定了清晰的路线图，不仅涉及人机交互、可持续物联网、数据价值化、边缘智能、安全信任与开放标准等前沿方向，更标志着欧盟物联网发展已进入一个强调顶层设计、以创新战略驱动技术落地的新时期。

针对促进物联网产业的发展，欧盟推出了一系列措施以及方法，“数字单一市场”计划^[7]，旨在加强数字技术的应用和标准化，为物联网产业的发展提供更好的环境；并同时加强物联网的隐私和安全保护，出台了《通用数据保护条例》（GDPR, general data protection regulation）^[8]，规定了个人数据的处理和保护标准，以确保物联网的健康发展。欧盟也为物联网产业提供了资金支持，例如，欧盟“数字欧洲”计划为物联网产业提供了100亿欧元的资金支持，推出了“智能城市挑战赛”计划，鼓励各城市采用物联网技术提高城市管理效率。

1.1.2 美国物联网科技产业

美国政府对物联网的发展给予了高度的战略重视，将其视为未来产业的核心驱动力。这一立场通过近年来的一系列政策得以凸显，包括特朗普政府的《2022财年研发预算优先事项》备忘录，以及拜登政府的《美国就业计划》^[9]和《美国创新与竞争法案》^[10]等，这些文件均明确体现了对物联网领域的重点支持。

2022年北美物联网市场规模为1 797.1亿美元，达到市场份额的最大值，并预计从2023—2030年将以25.1%的复合年增长率（CAGR, compound annual growth rate）增长，北美物联网市场规模预测如图2所示。最新预测显示，2025年年底全球IoT支出将接近1万亿美元。其中，北美物联网设备市场将在2024年实现245亿美元销售收入，并预计到2030年达到532亿美元，CAGR为13.5%。安全领域增长尤为迅猛，预计2025年年底北美IoT安全市场规模将达119亿美元，未来五年CAGR高达21.97%。受益于基于云平台的客户群快速增长，医疗健康、工业制造和汽车行业的物联网应用出现了显著增长。此外，由于支持物联网的设备扩展和对该技术研发投资的增加，以及谷歌、亚马逊、Microsoft、思科和IBM等主要市场的参与，云平台在该地区得到了广泛采用。

1.1.3 日本物联网科技产业

日本物联网发展历经“e-Japan”“u-Japan”到“i-Japan”的战略演进，当前核心目标已统一于“社会5.0”蓝图之下^[11]。为了推进此愿景，日本于2015年成立了由数千家企业组成的物联网推进联盟，该联盟不仅主导国内技术应用与政策协调，更积极展开国际合作，并与美国、德国相关组织携手。在具体行动上，日本于2017年发布“5G”计

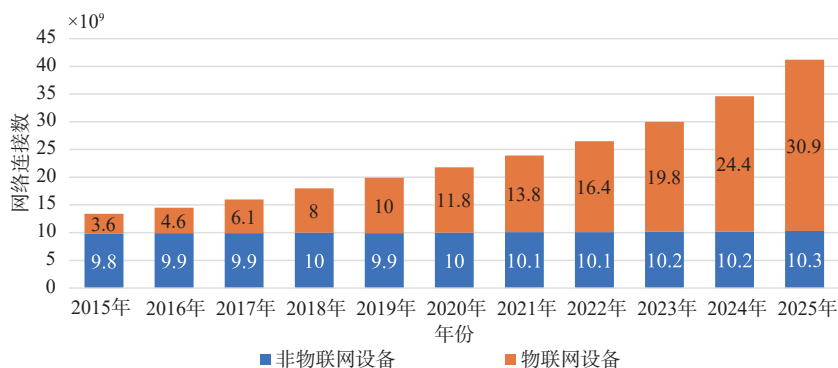


图1 2015—2025年物联网与非物联网终端网络连接数对比及预测^[6]

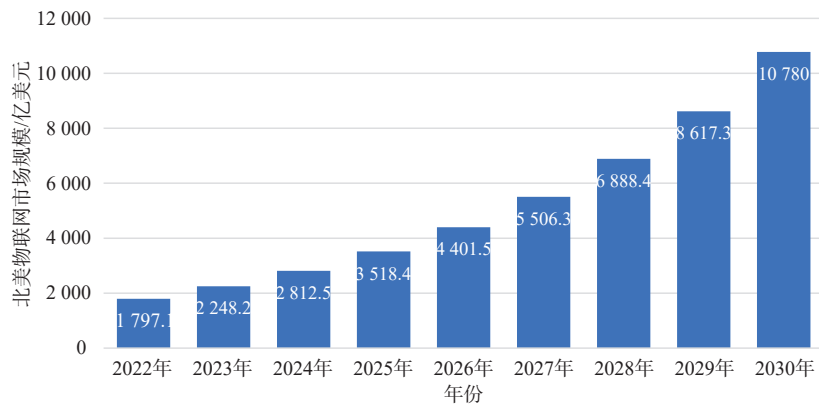


图2 北美物联网市场规模预测

划，旨在以5G商用加速物联网落地。其近期应用目标聚焦于物流与制造领域，例如，在高速公路推广无人机卡车编队运营，并利用5G大连接能力提升工厂智能化水平。此外，日本高度重视由此带来的安全挑战，专门发布《物联网安全框架》以指导安全体系建设^[12]。

目前日本物联网市场支出最高的行业是装备制造、流程制造、政府机构、公共利益、零售和交通运输。制造业支出大的原因是制造业占国内生产总值的比重较大、政府对制造业的扶持措施显著、生产过程吞吐量的提高以及对制造业的监控。此外，应对社会基础设施恶化和交通系统复杂化的措施扩大、智能电网支出持续增加以及物联网应用在供应链中的普及，也将推动这些行业的支出。在消费端，个人消费者的物联网支出主要由智能家居驱动。除智能家居外，增长潜力较高的用例还包括：院内临床护理、零售店智能推荐、智能电网/电表、远程信息处理保险、联网建筑（智能照明）以及智慧农业。这些新兴应用场景不仅拓展了物联网的产业边界，也为日本“社会5.0”战略下的人、机、物联网与数据驱动的社会治理提供了现实支撑。

1.1.4 俄罗斯物联网科技产业

俄罗斯于2019年重新制定了《国家农业发展规划》，增加了“农产品出口发展”、“农业数字化”等多项内容，同时制定了《2030年前农工综合体发展战略》，其中第五个战略目标就是农工综合体的数字化转型，目标是到2030年将俄罗斯全部农业用地的相关信息录入统一系统，并完成对10万个指标的收集和分析。为此国家建立了统一的数字农业平台，截至2024年为农业提供的各项支持中有75%以数字化方式运行。

俄罗斯专门设立了“Smart City”部门主要负责智慧城市建设，并在叶卡捷琳堡、萨马拉、阿尔马维尔等城市实施试点项目，搭建了市政服务门户网站用于医疗数据分析等社会运营。物联网相关产业还有智慧交通、智慧通信、智慧服务（医疗、教育）、智慧环境（建筑、充电、垃圾处理）等，均在俄罗斯物联网产业的的城市应用领域中占有较高比例。俄罗斯物联网产业主要覆盖工业、农业、城市、能源、智能电网五大关键领域。

1.2 我国物联网科技产业发展现状与分析

1.2.1 我国物联网科技产业的整体发展状态分析

整体来看，我国物联网产业已积累了显著的优势，尤其在无线智能感知、传感器网络、微型传感器设计与制造、无线移动基站等关键技术与基础设施环节取得了长足进步。截至2023年9月，全国物联网相关企业已超过8 000家，产业规模接近3万亿元，并保持高速增长态势。物联网共性基础理论和关键技术体系逐步确立，国家与行业标准加快完善，已发布或在研的标准达249项^[13]。我国物联网产业发展整体与国际保持同步，并在部分领域实现领先，产业体系日趋完善，结构持续优化，正进入由高速增长迈向高质量发展的关键阶段。

在政策与技术的持续推动下，我国物联网市场蓬勃发展，三大运营商蜂窝物联网终端用户规模持续扩大，物联网发展空间愈加广阔。2020—2025年中国物联网市场规模趋势^[14]如图3所示，2020年中国物联网市场规模达2.14万亿元，同比增长10.67%，到了2022年中国物联网市场规模约为3.05万亿元，同比增长15.97%，随着政策支持及技术的提升，物联网市场规模将继续增长，预计2025年

年底前将达4.55万亿元，成为全球增长最快、潜力最大的市场之一^[15]。

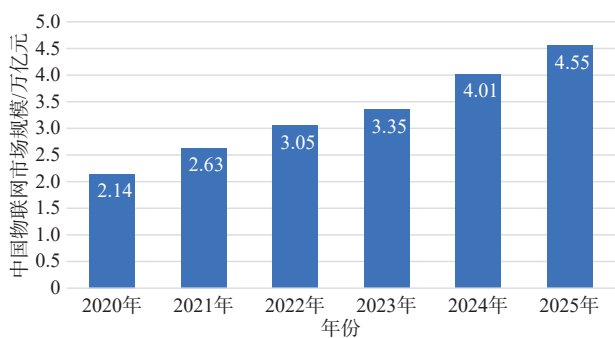


图3 2020—2025年中国物联网市场规模趋势^[14]

我国物联网产业已步入从追求规模到注重质量的战略转型深水区，具体表现为产业生态的持续优化、技术能力的显著增强以及应用场景的遍地开花。展望未来，在强有力的政策引导与技术迭代的推动下，物联网势必成为赋能实体经济数字化转型、加速“数字中国”建设与新型工业化发展的关键支柱，为国家综合竞争力注入强劲动能。

1.2.2 长三角地区物联网科技产业发展

长三角地区作为我国物联网技术的重要起源地与产业高地，其发展路径已显著呈现出以高端技术突破和规模化应用深度融合为核心特征的成熟形态。该地区不仅主导着国内技术标准的制定与创新战略的实施，更通过强化在物联网系统集成与垂直行业应用解决方案这两大高附加值环节的布局，持续巩固其龙头地位，并成功吸引了众多产业链的核心企业设立研发中心与总部基地。目前长三角地区的物联网产业链有以下特点。

(1) 区域协同分工明确。长三角已构建起极为完整的产业链配套体系。以上海为龙头，致力于研发设计与总部集聚；江苏（特别是无锡）在高端制造、传感器与关键零部件领域实力雄厚；浙江则凭借其市场活力，在智能家电整机制造与电商渠道应用上独具特色。这种差异化协同格局，形成了强大的产业集聚效应。

(2) 创新生态日趋完善。长三角区域经济活力强、开放程度高，聚集了大量的高校科研机构，这些都为物联网新技术的研发、物联网企业的批量出现提供了有力支撑。位于江苏的无锡物联网产业促进中心、中国科学院物联网研究发展中心等单位在国内率先展开物联网核心技术研发、应用示范推广

等工作，发挥了国家物联网科技产业创新发展的龙头作用，承担起了相关行业标准制定的“顶梁柱”；初步形成了以无锡为核心，苏州、南京为支撑的物联网产业聚集区，技术创新与市场应用能力居于全国前列。

1.2.3 珠三角地区物联网科技产业发展

随着政策相继落地和集聚效应凸显，珠三角地区有着充足的劳动力和大量的市场资源，在物联网企业数量、产业链完整度上全面领先。目前，珠三角地区已形成了以硬件制造为基础、核心技术攻关为驱动、多元化应用场景为牵引的完整物联网产业生态。

在空间布局上，珠三角已形成了以深圳为研发创新引擎，东莞、惠州等城市为制造基地的珠江东岸产业协同格局。该区域成功培育了远望谷、当代、先施等一批提供自主知识产权解决方案的本土龙头企业。同时，产业集聚效应显著，汇集了从芯片设计（如中大微电子）到应用服务（如德生科技、达华智能、金邦达）等2 000余家射频识别相关企业，并吸引了芬欧蓝泰、信泰电子等国际巨头的生产与封装中心落户广东。

在收入规模上，物联网产业目前已成为广东省第一大支柱产业。广东省物联网营业收入趋势预测^[16-17]如图4所示，2021年广东省电子信息（物联网）营业收入4.56万亿元，占全国32.3%；2022年广东省电子信息（物联网）营业收入约4.9万亿元；2023年营业收入进一步提高达到5.5万亿元；根据模型预测，预计到2025年年底新一代物联网产业营业收入将达到6.6万亿元。

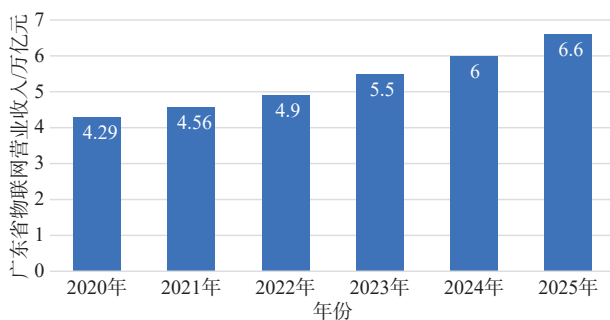


图4 广东省物联网营业收入趋势预测^[16-17]

1.2.4 以无锡为代表的区域物联网产业发展

自2009年获批建设全国首个“国家传感网示范区”，无锡高水平培育发展了物联网，建成了国家先进制造业集群领域唯一的物联网集群，形成了

一批重大应用示范,拥有23个国家级重大应用示范项目,累计获得国家示范试点牌子28个,形成了较为成熟的物联网应用推广经验和模式。

产业需求导向构建场景示范样板。无锡以智能传感器、车联网、工业互联网“一感两网”为特色产业细分赛道,构建了多层次的信息通信应用场景开放推广体系^[18]。打造重大应用场景先导区,无锡建设了全国首个国家级江苏(无锡)车联网先导区,建设城市级“试验场”,推动全域“车路云一体化”,集聚一批车联网应用场景,预计到2025年年末,将实现车联网应用场景200个。建立场景“揭榜挂帅”机制,通过物联网“领航计划”、引进物联网技术与应用“三创”大赛等方式,以企业、城市等应用端的场景需求为导向,将全国范围的技术创新成果招引、落地到无锡。

1.2.5 我国其他地区的物联网科技产业发展

1.2.5.1 京津冀地区物联网产业发展现状

京津冀地区已形成协同发展的物联网产业生态。整体来看,该区域在A股市场拥有50余家物联网概念上市公司,占总数的19.19%;2023年前三季度,这些公司营收达4550.23亿元,同比增长5.75%,占全国总营收的24.14%,凸显了其举足轻重的产业地位。

从三地分工看,北京作为创新策源地,已构建“感、传、智、用”全产业链,集聚企业超3000家(规模以上企业超500家),产值达千亿级,并通过十大应用示范工程和城市级平台推动技术落地^[19]。天津则以滨海高新区、经开区和东疆保税区三大园区为主要载体,聚焦于芯片研发、射频识别、解决方案设计等领域,形成了从感知、超算到系统集成的特色产业链。河北的优势在于应用类企业和完整的基础制造链条,覆盖关键芯片、传感器、智能硬件等环节,并拥有中电科13所、54所等国家级研发平台,为产业提供了强大的技术支撑。

综上所述,京津冀地区凭借北京的技术引领、天津的制造集成与河北的基础支撑,形成了优势互补、协同发展的良好格局。

1.2.5.2 海南自贸区的物联网产业发展情况

近年来,在《智慧海南总体方案(2020—2025年)》^[20]等政策方案推动下,海南自由贸易港区物联网产业增长有目共睹,呈现出上游感知层企业聚集度较高、中游传输层企业数量相对稳定、下游

应用层辐射多个行业的态势。海南物联网产业发展向好,市场主体新增量近5年来呈现出翻倍式增长的趋势,年均新增量自2021年起已破万家。统计结果显示:目前物联网产业的市场以小型和微型企业为主,并集中在省会海口市,其中海口市的市场主体占比约62%,三亚市和澄迈县分别以14%和5.6%位列第二和第三。

1.2.5.3 四川地区物联网产业发展情况

近年来四川省大力发展物联网重点产业,打造具有全国影响力的数字产业集群,目前省内超1500家物联网企业的营收规模已达近2000亿元,平均增长率保持在15%左右,形成从上游物联网芯片、智能传感器到下游系统集成及应用服务的较为完整的产业链,呈现出“一核心两支撑六园区”的产业空间分布。其中,“一核心”即产业核心区成都,“两支撑”即绵阳和乐山两个产业支撑区,“六园区”即成都高新区、绵阳高新区、成都双流区、乐山高新区、内江城西工业园区、宜宾临港经济开发区。

2 我国物联网科技产业的发展趋势和技术方向

我国物联网科技产业步入由规模扩展向质量提升、由单点突破向系统集成、由局部探索向全面渗透的关键阶段。总体来看,物联网作为数字经济与实体经济深度融合的重要支撑力量,正展现出基础设施加快完善、核心技术自主可控、人工智能深度融合、产业赋能作用增强以及先进集群加快形成等发展趋势,成为驱动产业升级和社会治理现代化的重要引擎。

2.1 智能化新基建成为物联网的未来发展趋势

作为支撑“数字中国”发展建设的新型基础设施建设(即新基建)已经成为新时期的国家发展战略。新基建是在智慧经济时代提出的新发展理念,以技术创新为驱动,以信息网络为基础,面向高质量发展需要,实现国家生态化、数字化、智能化、高速化、新旧动能转换与经济结构对称态,加快推动现代化经济体系的国家基础设施建设。现阶段新型基础设施建设的重点为5G基站、特高压、城际高速铁路和城市轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、人工智能、工业互联网七大领域,同时涉及包括绿色环保防灾公共卫生服务效能体系建

设、5G-互联网-云计算-区块链-物联网基础设施建设、人工智能大数据中心基础设施建设、以大健康产业为中心的产业网络基础设施建设、新型城镇化基础设施建设、新兴技术产业孵化升级基础设施建设等诸多产业链。新基建的本质特征可概括为：基础性（支撑经济社会发展）、创新性（技术驱动）、系统性（多领域协同）与动态性（持续演进）。

新型基础设施建设（新基建）是支撑“数字中国”战略、驱动高质量发展的国家基石。它秉承智慧经济时代的新发展理念，以技术创新为引擎，以信息网络为底座，旨在为国家生态化、数字化、智能化转型提供核心支撑，加速新旧动能转换与经济结构优化，从而筑牢现代化经济体系的坚实基础。

我国新型基础设施建设目前主要分为三大类型^[21]。

第一类是新型信息基础设施，指新一代信息技术所塑造的基础设施范式，是支撑数字经济与数字化转型进程的基石，重点包括以下3个部分。

（1）网络基础设施。①5G网络具有高速率、低时延和大连接的特点，能够满足高清视频、虚拟现实、增强现实、智能驾驶等新兴应用的需求^[22]；②光纤宽带网络能够为家庭和企业提供高速稳定的互联网接入，是实现数字化生活和办公的基础；③骨干网络则承担着大量数据的传输和交换任务，确保信息在不同地区之间的高效流通；④国际通信网络连接着各个国家和地区，促进全球范围内的信息交流和贸易往来；⑤卫星互联网能够覆盖偏远地区和海洋等传统网络难以到达的地方，为全球用户提供无缝的网络连接。

（2）算力基础设施。①数据中心作为集中存储、处理与分析海量数据的物理载体，为上层应用提供必需的数据存算服务支撑；②通用算力中心提供标准化的非专用计算资源，旨在满足社会层面广泛且多样化的通用性计算需求；③智能计算中心则专注于人工智能等特定领域的计算任务，具备强大的并行计算和深度学习能力；④超算中心则拥有超强的计算能力，可用于科学研究、工程模拟等高端计算领域。

（3）新技术基础设施。①人工智能技术在多个关键领域实现长足进步，特别是在计算机视觉、语音信息处理及自然语言理解等方面表现尤为突出，为智能化应用提供了核心技术支持；②区块链技术

凭借去中心化、难以篡改和可追溯的特质，在金融、供应链、知识产权等诸多领域展现出广阔的应用前景；③量子计算则具有强大的计算能力，有望在密码破解、药物研发、材料科学等领域带来革命性变化。

第二类是新型融合基础设施，主要指通过深度应用互联网、大数据、人工智能等新一代信息技术，对交通、能源等传统基础设施进行智能化改造升级后所形成的集成化基础设施形态，典型代表包括智能交通系统、智慧能源网络等。

第三类是新型创新基础设施，主要指为科学研究、技术研发与产品创新等公益性活动提供关键支撑的底层平台与设施体系，主要包括重大科技基础设施、科教基础设施与产业技术创新平台等。

物联网时代的发展伴随着数字化技术革命和智能化产业变革，新型基础设施的内涵、外延也在不断地发展和演进，其中最具代表性的概念之一莫过于“工业物联网（IIoT, industrial Internet of things）”^[23]。未来工业物联网是联接工业生产全要素的一种新型智能协同信息网络基础设施，是国家“新基建”战略的重点发展领域；通过人、机、物等生产要素的安全可靠智联，实现生产全要素、全产业链、全价值链的全面联接，推动制造业生产方式和企业形态根本性变革。工业物联网是新一代信息通信技术与工业经济深度融合的产物，具体表现为一种新型基础设施、创新应用模式和协同工业生态。它通过对人、机、物、系统等全要素的泛在联接，构建起覆盖全产业链与价值链的智能化制造与服务体系，从而为工业乃至整个产业的数字化、网络化、智能化升级提供了关键实现路径，成为第四次工业革命的基石。

“新基建”旨在构建支撑中国经济新动能的基础网络。其意义在于不仅能为新经济发展注入强劲加速度，培育短期和长期的经济增长点，更将推动社会进入“全面在线”的新阶段。当前，我国“新基建”尚处布局初期，蕴含广阔的投资空间，预计将催生大量新业态，深刻改变经济与社会运行模式。

2.2 发展智能物联网的重点是建设新一代网络基础设施

如果将物联网的核心理念定义为万物智联，也就是让人、机、物等所有生产要素都成为网络基础

设施按需联接的对象和按需服务的目标,则发展建设新型的智能化网络基础设施就成为物联网科技产业未来发展的战略目标和重点任务。

信息通信网络是支撑现代社会运转的关键基础设施。然而,随着物联网时代的到来,其技术范式正面临深刻转型:传统以提升带宽与速率为核心指标、以人际通信为核心功能的网络架构,已难以适应万物互联的新需求,急需一场根本性的变革。

物联网环境下信息产业的发展重点向信息网络的“末梢效应”及其“边缘价值”转移。“末梢效应”是指信息网络对其所连接的末梢环境其他相关产业所能产生的影响和发挥的作用;“边缘价值”是指信息网络自身价值以外服务于网络边缘其他行业产生的间接价值和增值服务^[24]。

因此,物联网驱动未来信息网络发展建设重心将从工具型的公众基础设施建设,转变为向所有联接对象所在环境空间的智能化服务目标提供面向需求的新型网络基础设施。新一代网络基础设施的目标和功能也将从“以网络为中心的服务”向“以服务为中心的网络”发生战略转变;网络基础设施从信息化时代的信息传输网络设施转变为智能化时代的信息服务网络设施^[25-26]。

作为国家重大战略发展方向和需求的未来工业互联网(industrial Internet)是新一代信息通信网络技术与工业制造深度融合的全新工业生态、关键基础设施和新型应用模式,通过人、机、物的安全可靠智联,实现生产全要素、全产业链、全价值链的全面连接,推动制造业生产方式和企业形态根本性变革,形成全新的工业生产制造和服务体系,显著提升制造业数字化、网络化、智能化发展水平。

工业互联网具有比传统互联网设施更为丰富的内涵和外延。它以网络为基础、平台为中枢、数据为要素、安全为保障,既是工业数字化、网络化、智能化转型的基础设施,也是互联网、大数据、人工智能与实体经济深度融合的应用模式,同时也是一种新业态、新产业,将重塑企业形态、供应链和产业链。

在此重大战略需求背景下,如何面向未来工业制造等物联网场景,准确建模表征全生产要素协同交互的结构化组织关系、完备构建全产业链与全价值链高效协同的网络化按需调控体系,实现未来智能物联网的人、机、物生产全要素按需可靠互联、

协同和融合,将是克服现有技术水平与产业应用需求鸿沟的重要任务。

在智能制造、智能交通等智能化的边缘服务环境中,大规模的生产全要素必须能够实现按需联接、实时交互和自主协同通信,并做到对生产数据的全面深度感知、实时传输交换、快速计算处理和智能建模分析。为此需要在大规模智能终端设备等生产要素中植入传感、通信、计算等模块,在物料等生产要素中借助条码、二维码、射频识别标签等技术及设备实现连接,而生产人员则通过人机交互接口对生产要素进行控制。智能化的边缘环境内生无线协同网络与系统是能够实现上述工业环境生产全要素按需接入和互联的一种新型网络基础设施。

“工业4.0”的全球战略将智能工厂作为新一轮工业革命的智能新型基础设施,并将工业互联网视为这个工业革命主题的重要解决方案。最早由GE于2012年提出了工业互联网概念,随后GE联合IBM、思科、英特尔和AT&T组建了工业互联网联盟(IIC, Industry Internet Consortium)^[27],将这个概念大力推广开来。IIC指出,工业互联网是将关键资产、先进的预测性和规范性分析以及现代产业工人聚集在一起。它是由通信技术连接的众多工业设备组成的网络,从而形成能够以前所未有的方式监控、采集、交换、分析和提供有价值的新见解的系统,这些见解可以帮助工业企业做出更智能、更快速的业务决策。

未来工业制造环境将泛在的网络通信方式、灵活的移动计算模式、通感算资源表征、群智协同交互控制、资源跨域高效协同、按需适配调控组网、资源与生产协同优化制造等新模式、新机制、新理论与新方法等融合应用到工业服务的各个环节,构建了智能化工业生产过程中人、机、物等生产全要素能够高效按需互联、协同和融合的未来工业物联网基础设施,实现了生产域的智能部署、生产路程的灵活重构、生产设备的适时调整、生产要素的按需配置,从而达到提高生产效率、改善服务质量、节约服务成本、减少资源消耗、降低环境污染的智能服务水平。

2.3 物联网智能化基础设施的主要特征及服务环境分析

在智能物联网不同生产服务环境中所涉及的人、机、物等生产要素也是不同的。例如,在流程

随地按需互联。这依赖于综合运用多种网络技术以及射频识别、红外感应器、全球定位系统 (GPS)、激光扫描器等信息传感装置,按照约定协议将包括人、机、物在内所有能够被独立标识的物端(包括所有实体和虚拟的物理对象及终端设备)无处不在地按需接入和互联,进行信息传输和协同交互,以实现利物端的智能化信息感知、识别、定位、跟踪、监控和管理,构建所有物端之间具有类人化知识学习、分析处理、自动决策和行为控制能力的智能化生产服务环境。

在虚拟层面,智能物联网的网络基础设施是实现物理世界与逻辑空间的交互,通过将物理空间中各种异质系统的数据经过程序化法则、映射成逻辑空间中统一格式的多维数据,分类存储或缓存于网络边缘或云端,并按照广义交换协议进行多维度的数据标识、分配、交换、转发和共享,形成新的异构数据集,再逻辑映射返回物理空间,从而完成异质系统之间的数据交换。这种以数据驱动多维度、多粒度、跨层次的泛在信息交互思想,意味着未来的物联网新型基础设施将具备“数字孪生”“协同交换”和“虚拟重构”等功能。可以通过数字孪生、区块链、边缘计算、人工智能等新一代信息技术赋能网络终端,充分保障网络接入认证、数据加密和授权安全,从“上网”“上云”到“上链”,完成从“网络互联”“数据互联”再到“价值互联”,最终实现“万物按需互联”的愿景。

在智能物联网环境中,生产业务类型趋于多元化、动态化和复杂化,用户对服务体验的要求越来越高,用户需求随着所需提供的业务类型、业务特征、服务开销、应用场景的变化而动态变化;大规模业务物端的多样性和异构性带来强弱终端能力差异大、接入技术复杂、用户需求多样化等问题;工业场景中异构网络的无线频谱、计算能力、存储设备等各类资源呈现离散化分布,而大规模终端业务对网络资源的需求及占用状态占有情况相对独立且动态地变化;网络设施运行状态的数据量巨大。因此,智能物联网的网络基础设施需要从不同的空间域和资源域、不同的粒度和精度上动态感知和测量网络空间各类信息参数,既需要从时间精细粒度上准确测量和感知工业环境大规模终端协同互联的多径衰落无线信道动态传输特性,也需要从空间精细粒度上完成对频谱资源状态、网络运行状

态、终端业务属性等各类信息参数的适时在线感知,形成按需驱动的网络设施智能动态组织和决策控制依据。

2.4 物联网未来科技创新的研究方向和关键技术

物联网的新型网络基础设施建设是实现数字中国战略目标的重要任务。“数字中国”战略目标旨在通过信息化和智能化解决方案推动经济社会的全面发展,而新型网络基础设施作为提供信息化和智能化新型生产工具,是实现这一战略目标的新质生产力。

可以预见我国物联网领域的产业发展与科技创新将围绕新型智能化网络基础设施的发展建设在以下若干研究方向开展重点突破。

(1) 物联网环境下的大规模生产要素信息模型

信息模型是物联网环境下新型网络基础设施的理论基础和结构体系。在智能化生产的物联网应用场景中,大规模生产要素的协同互联与智能管控成为一个亟待解决的科学问题,传统的静态信息模型已经无法满足物联网场景的需求。物联网的信息模型是物联网环境人、机、物等全要素在信息空间的动态结构与业务关系的标准化描述和表征,通过信息模型对大规模要素业务关系的信息、数据格式、语义等进行标准化表述和建模,从而实现生产要素间的群智协同与互操作。因此,建立一个能够动态描述生产要素之间动态业务关系的信息模型,将驱动智能化网络设施对人、机、物等生产要素按需主动接入和互联,实现新型网络设施的按需主动运行和服务。

(2) 物联网新型标识解析体系

标识体系是对大规模生产要素的物联网环境进行构建和描述的重要理论方法和技术手段,如何高效地识别、协同和管控各类生产要素将成为一个关键科学问题。通过建立覆盖生产全要素的动态标识体系,能够对每一生产要素的身份、位置、状态、能力等信息进行实时标识与识别,并依托解析机制实现其在系统中的准确定位与智能管控。

新型标识体系主要包括3个核心组成部分:对象标识用于对物理或虚拟对象赋予唯一身份,确保其在全局网络中的可识别性与可追溯性;通信标识用于标记通信节点,保障数据在传输过程中的高效路由与安全可控;业务标识则用于描述和关联业务流程,支持不同业务环节之间的协同与集成,从而实现智能化服务的底层支撑。基于这一新型标识解析体系,相应网络设施可实现对人、机、物等生

生产要素的按需解析与动态调度，支撑系统实现主动协同运行与智能服务响应。

(3) 基于物端模型的超级终端智能体

由人、机、物等多种类终端实现群智协同而虚拟构建的超级终端将成为物联网场景下重要的新型智能化业务终端。超级终端智能体是指部署于网络边缘侧、能够感知环境并具备自主行为能力以完成特定任务的智能系统，其核心特征在于，它可以基于“物端模型”将多个独立的物理终端（包括其软件、硬件资源）动态聚合为一个可虚拟重构的、满足业务功能需求的超级终端系统，由超级终端构建的新型智能体具备自主交互与主动行为的能力，能够通过传感器等输入感知环境变化，并依据内置算法与学习到的知识进行判断决策，最终执行任务以改变环境或达成预设目标，实现“感知-决策-行动”的闭环。

物端模型则是描述物联网环境下由生产要素所构建的各类虚拟业务终端设备的属性、功能与行为的抽象架构理论模型，它能够对各类按需构建的虚拟智能体设备的身份管理、资源协同调度、数据采集与交互以及跨设备协同互联等核心功能进行标准化定义，旨在实现大规模终端资源的标准化描述、为智能体终端的设计、接入与管理提供统一框架，支撑设备间的智能协作与系统级服务构建，是物联网规模化与智能化发展的关键基础。物端模型需基于标识体系对相关业务终端设备的身份识别、位置寻址、能力属性以及状态信息的适时感知与管控，并且实现满足业务需求的动态聚合和群智协同模型。

(4) 面向大规模生产要素的新型智能化内生网络设施

面向大规模生产要素物联网场景下的新型智能化内生网络设施的研究与建设，是推动物联网科技产业发展的重要任务。智能物联网环境下的新型智能化内生网络设施将与生产场景及生产过程融为一体；在大规模生产过程中，新型网络设施将主动实现各种生产要素如设备、原材料、人员等按需动态协同互联，使复杂业务的海量异构数据按需适时协同交互。其中通感一体化技术可以使网络设施能够实时获取生产过程中的各种数据，并通过网络智能组织方法建立起所有生产要素间的动态业务关系；智能内生网络能够根据实时数据进行主动调整，从而实现智能化的生产运行和管控。

(5) 面向万物智联的未来泛在感知技术

新一代感知终端正向高精度、多模态、低功耗与无电池化方向持续演进，通过环境能量采集、柔性材料和边缘智能等前沿技术，实现对物理世界更广覆盖、更高频次、更深层次的感知，为无处不在的工业生产、环境监测、智慧医疗等场景的按需数据感知提供基础支撑。

(6) 支撑无缝覆盖的空天地海一体化通信网络技术

面向万物互联深空拓展，构建融合蜂窝网络、低轨卫星、无人机中继与水下通信的无缝覆盖复杂网络通信体系，提升对空域、远洋、极地等传统盲区的连接能力，为低空经济、海洋作业、应急通信与全球物流提供连续、可靠、广域的泛在连接支撑。

(7) 支撑沉浸式体验与实体交互融合的高速宽带短距通信技术

物联网场景中的用户要求能够感受到智能化服务的沉浸式体验，并且研究部署能够实现这种智能化体验的新型实体基础设施。研究该新型设施的主要技术方向包括：未来短距通信技术正向超高速率、超低时延与超高可靠抗干扰方向持续演进；以下一代Wi-Fi、星闪增强、近场太赫兹通信等为代表的高速宽带短距通信技术，将重塑终端间的协同互联通信模式，为AR/VR沉浸式交互、车载高速互联、智能家居全域控制及可穿戴设备实时协同等场景，提供高带宽、高并发、低抖动的无缝按需连接能力，推动人-机-物从简单连接走向按需协同互联及深度融合。

(8) 支持认知协同与执行闭环的网联具身智能技术

具身智能终端正从单一任务执行单元，演进为具备环境感知、云端协同认知与自主行为决策能力的智能体。通过将通信、边缘计算与智能控制深度耦合，构建“感知-通信-计算-控制”一体化的智能实体网络，实现多智能体在动态服务环境中的协同感知、任务分配与行为闭环。该技术正逐步应用于机器人集群协作、智能无人机编队、无人车协同调度等典型场景，推动智能系统从孤立控制走向群体智能与自主协同。

(9) 面向可信运行的智能物联网安全与隐私保障技术

面对终端泛在、场景开放、数据流动的新型物

联网环境,安全体系正从传统边界防护向主动免疫、动态可信的方向演进。融合零信任架构、轻量化终端认证、联邦隐私计算与人工智能(AI, artificial intelligence)驱动威胁感知等关键技术,构建覆盖终端、边缘、网络与平台的一体化动态安全防护体系,实现身份可信、行为可溯、数据可用不可见的安全目标,为关键基础设施、工业生产、生命健康等高敏感场景提供持续加固的安全韧性与合规可靠的数据流通能力。

(10) 面向复杂场景的通感算控融合智能系统

通感算控融合智能系统通过深度融合通信、感知、计算与控制等多种要素,提供具备实时响应、自主决策、智能闭环的系统能力,能够在动态开放环境中实现毫秒级数据采集、近源推理与精准控制的一体化执行,显著提升在高速工业控制、车路协同、全息交通、自动驾驶以及极端环境应急响应等复杂任务场景下的系统可靠性、实时性与环境适应性,推动物理世界运行走向智能闭环与自主优化。

(11) 面向全球泛在连接的低轨卫星物联网系统

低轨卫星物联网作为地面网络的重要延伸,正通过窄带通信与地面网络深度融合,构建覆盖陆海空、无盲区、低功耗的全球泛在物联能力。该系统重点服务于跨境物流、远洋航运、极地科考、山区环境监测等地面网络难以覆盖的长尾场景,有效破除地理与环境限制带来的“连接鸿沟”,为加快形成全球一体化、无缝连接的物联网服务体系提供关键支撑。

(12) 支撑低空经济^[29]的三维空间智联网系统

低空智联网正依托5G-Advanced通感一体化、低轨卫星通信与雷达感知等多技术融合,构建空天地协同的三维立体网络基础设施。该系统通过智能调度与全域感知能力,支撑物流无人机跨域配送、城市空中出行与空天地一体化协同感知等多元场景。在通信层面,5G-Advanced基站内生感知功能可实现低空目标的全方位识别与轨迹跟踪;在管控层面,通过云网协同与AI动态规划,提升空域资源利用效率与飞行安全水平。这一体系不仅为城市治理、应急响应等场景提供“平急两用”的分钟级智能响应能力,更为低空经济规模化、安全化发展构建了核心数字底座。

(13) 驱动制造跃升的工业物联网系统智能化

工业物联网正通过深度融合边缘智能、工业大

模型与数字孪生等关键技术,构建具备全流程感知、精准预测与自主优化能力的智能制造系统。为了应对多品种、小批量、高柔性的现代生产需求,系统进一步与传感器网络、机器视觉及工业AI深度集成,推动制造系统从传统自动化向自学习、自协同、自决策的高级形态演进,最终实现制造模式向柔性化、智能化与可持续化的根本性转型。

(14) 聚焦生命健康领域的物联网智能服务体系

围绕人口老龄化应对、疾病早期预警及医疗资源优化配置等重大社会需求,物联网技术在生命健康领域加速融合可穿戴设备、生理传感、生物识别与医疗人工智能等前沿技术,构建覆盖全生命周期的健康数据实时采集、连续监测与智能分析能力,推动医疗服务模式从以治疗为中心转向以预防为核心、个性化干预为特征的物联网新型健康管理体系。

这些产业发展趋势与科技研究方向描绘了物联网科技与产业未来发展的宏伟蓝图,使我国在全球科技与产业竞争中能够始终把握发展的主动权和制高点,引领物联网科技产业未来的战略发展方向。

3 物联网科技产业发展面临的科学问题和重大难题

近年来国家自然科学基金委员会立项建立“未来工业互联网基础理论与关键技术”重大研究计划^[29],引领了大规模生产要素物联网环境下科技产业的理论研究和研究方向;提出了我国工业互联网要瞄准国家重大战略需求,把握未来工业互联网发展趋势,针对未来工业互联网生产要素互联的时空关系演变及调控规律这一核心问题,围绕以下3个科学问题展开研究。

(1) 全要素互联的结构化组织机理。针对未来工业互联网人、机、物等全要素安全可靠互联的系统复杂性难题,重点解决如何刻画未来工业互联网全要素互联的联接关系与结构关系,如何度量其复杂性并构建相互控制关系等问题。重点研究未来工业互联网按需联接的本征模型与调控机理、生产要素数据多维表征及结构化组织机理、全要素互联的系统熵理论。

(2) 生产制造流程的柔性构造理论与方法。面向未来工业互联网柔性化制造全流程的流畅性与稳定性要求,重点解决如何精准刻画未来工业互联网生产链制造全流程中的误差传播、有效识别生产流

程的脆弱性、定量评估生产线重构的收敛性等问题。重点研究未来工业互联网柔性化制造全流程的容差分析与传播模型、全流程稳定性构建方法、全流程重构的理论与方法。

(3) 产业链与价值链的网络化调控原理。针对未来工业互联网生产制造的全产业链、全价值链耦合与复杂调控关系，重点解决如何从效率角度建立网络化产业链模型、从效用角度建立网络化价值链模型，如何实现跨产业链与价值链联动的多目标调控优化等问题。重点研究未来工业互联网生产制造的全产业链构建模型、全价值链构建模型、跨链耦合的网络化调控原理。

当前国内外智能物联网的研究与发展已经取得阶段性成效，但总体仍处于发展的初期阶段，技术本身的发展与实际应用、产业数字化集成与实际需求等都面临着挑战，仍然缺少物联网在具体应用场景的理论与技术集成实现，存在着不少问题：①在体系架构方面，现有基于分层的体系架构和基于域的体系架构，尚不能完全阐述与工业控制系统如何进行交互，不能解析复杂工业制造、生产行为涉及的业务场景及其要素间关系，缺乏针对多重传递与级联突变等威胁的安全理论与方法，不能实现智能物联网生产全要素的自适应安全按需协同；②在标识解析方面，现有研究方案只针对对象标识及数据标识构建命名与解析体系，忽略了智能物联网生产全要素对人、机、物按需联接与协同交互需求，缺乏对通信标识和应用标识的定义、构建与解析；③在信息模型方面，现有模型都是针对工业领域的特定场景、特定需求进行设计，无法兼容多种场景、多种需求，且无法实现生产全要素的信息化表征和高效互联，无法实现全局优化生产流程；④在多终端群智协同交互方面，现有方法难以兼顾在不同场景不同需求下动态的智能体行为特性，难以动态刻画智能物联网场景中人、机、物在不同交互任务中的智能化特征、智能化需求及智能化流程，无法实现多元业务、复杂场景、海量对象间按需协同交互控制的信息融合与智能决策目的；⑤在组网方面，现有场景感知、数据表征、交互式学习、业务建模、业务预测尚缺少统一的理论框架和有效的建模理论，尚不能实现网络资源灵活适配于复杂动态的业务场景；⑥在网络节点及操作系统方

面，现有节点的硬件和软件的设计和特定工业应用场景绑定、耦合程度高，不能根据工业业务需求实时进行动态重配置，不能灵活适应多变的工业应用需求，不能实现工业生产全要素的按需协同互联。

在未来智能工厂背景下，如何根据实际工业制造场景生产关系的信息模型准确描述和建立生产全要素协同交互的业务关系，如何实现工业生产全要素按需互联、协同和融合，以及如何构建起生产全要素间按需互联互通互操作的交互调控关系，将成为探索智能制造工业环境全新的工业生态、关键基础设施和新型应用模式的核心技术问题。

物联网科技产业进展关乎数字经济高质量发展进程，然而产业进展价值不及预期，问题依然明显。首先，一体化通信网络仍需加快构建。目前，我国在网络覆盖广度、覆盖深度、融合应用、核心技术等方面仍存在一些亟待解决的问题，例如，无法实现多场景、全覆盖、“空天地海”一体化的网络通信，不能满足数字经济快速发展的需要^[30]，仍需加快6G、卫星通信、星闪等核心技术的攻关与应用，推动通信感知一体化融合发展。安全问题仍需重点关注。其次，不同技术之间标准不一，融合趋势增大了物联网安全风险。如ZigBee、NB-IoT等网络技术的传输距离、节点数量、安全性等性能不一、缺乏统一标准；而且随着连接设备数量的不断增加，网络攻击和数据泄露的风险变得更加突出，仍需针对性设计安全专项标准。此外，数据归集与利用仍处于较低水平，物联网是数据要素传输与获取的重要渠道，目前信息通信企业与物联网平台企业仍存在数据流通壁垒，且数据质量参差不齐，物联网大模型应用仍处于早期阶段，数据资产价值有待进一步释放。

为了系统应对上述挑战，需要加强全局统筹谋划，构筑可持续的竞争新优势。

(1) 统筹物联网基础设施一体化建设。加速不同场景的物联网基础设施整合，以构建NB-IoT、LTE Cat1网络、5G、6G等协同蜂窝网络体系先行，加快5G网络商业化和6G网络技术研发应用，加快各种网络基础设施协同，满足通感互联、智能交通、全息交互、元宇宙、智慧工业等新场景需求，推动网络基础设施整合向空天地一体化演进。

(2) 系统谋划物联网安全发展。顶层设计物联网整体的安全防护框架和体系, 加快推进涵盖硬件层、固件层和应用软件层的终端安全轻量化防护技术的研发与应用, 以市场需求导向, 结合政策引导和行业规范引领。

(3) 加强数据资产的管理及应用。规范物联网数据资产的管理, 明晰从数据采集、存储、处理和传输等环节、到数据挖掘、模式识别、预测分析等全链条的管理细则, 畅通信息通信企业与平台企业的数据流通, 健全数据交易交换机制, 促进数据要素全面释放资源价值。

物联网通过对物理世界的数字映射与智能控制, 有力推动了各行各业的数字化转型与智能化升级。当前, 物联网正持续渗透到生产生活、公共服务和社会治理等各个领域, 带来具有里程碑意义的深刻变革。全球物联网连接方式多样, 据物联网研究机构 IoT Analytics 统计, 全球近 60% 的物联网连接依赖短距离局域网技术, 其中 Wi-Fi 占比 31%, 蓝牙占比 27%, 另有近 20% 为基于蜂窝网络的远距离连接。多种连接技术的融合与协同, 正成为物联网发展的重要趋势^[31]。

4 物联网科技产业发展的分析思考与策略

我国始终高度重视物联网技术与产业的发展。自 2013 年《国家重大科技基础设施建设中长期规划(2012—2030 年)》^[32]提出“建设未来网络试验设施”并将物联网应用纳入其中以来, 相关政策持续深入推进。“十四五”规划与 2035 年远景目标纲要已经明确提出推动物联网全面发展, 构建支持“固移融合、宽窄结合”的物联网接入能力。党的二十大报告再次强调要加快发展物联网, 进一步巩固了其作为新型基础设施核心组成部分的地位。当前, 我国物联网新基建正朝着规模化、创新化、价值化与长效化方向稳步发展。

《物联网新型基础设施建设三年行动计划(2021—2023 年)》^[26](以下简称《行动计划》)首次明确了物联网新型基础设施的内涵, 即构建支持“固移融合、宽窄结合”的物联接入能力, 实现“全面感知、泛在连接、安全可信”三大特征。《行动计划》特别强调, 物联网新型基础设施建设并非传统网络设施与移动基站的简单规模扩张, 而是真正着眼于“新基建”的内涵——以需求侧投入扩张

拉动供给侧技术创新, 从而实现基础设施能级的全面提升和系统创新。在这一过程中, 计划明确指出了需重点实现创新的两个关键方向。

(1) 理论体系与关键核心技术。需要构建一套系统完整的物联网理论体系, 加强新型网络基础设施的基础理论研究, 重点突破物联网环境的理论模型和新型网络体系架构; 核心技术创新应该主要集中于产业上游的“卡脖子”环节, 包括需重点突破支持多源、海量数据接入的智能感知技术, 加快发展低功耗、高安全、高速率的新型短距通信技术, 强化高可靠、广覆盖的北斗定位及高精度室内定位技术的研发, 推进微机电系统传感器与物联网芯片的设计与制造, 开发轻量级、分布式物联网操作系统, 并加速边缘计算、数字孪生、IPv6 等关键技术的研发与实际应用。

(2) 技术融合创新。主要聚焦于产业下游推动商业价值实现的关键领域: 持续优化低时延、低功耗、大连接等技术性能, 增强 5G 对物联网的通信支撑能力。推进感知数据清洗、物联数据标准建模与特征分析、多源异构数据集成与共享等大数据技术的研究, 深度挖掘物联网数据价值。加强语音识别、视频识别、机器学习、物体运行机理建模、知识图谱等人工智能技术的应用, 丰富感知终端交互方式, 提升物联网服务的知识沉淀与专业化水平。积极推动轻量级、低功耗的分布式账本和非对称加密等区块链技术在物联网实际场景中的适用性研究与落地应用。

可以认为, 当基础设施的核心服务对象从“人”扩展到“物”, 甚至进入“人-机-物”协同服务的新阶段, 网络设施的主要功能将从信息传输转变为信息服务, 传统设施就必须演进为智能化的新型基础设施, 超越原有工具型网络属性, 实现内生化的主动网络系统性变革。因此, 我国物联网科技发展的核心任务与发展策略就是加快新一代智能化网络基础设施的科技研发、设施建设与全面部署。

新一代智能化网络基础设施的显著特征, 在于其与其他高新技术的深度融合与协同创新。这不仅是物联网自身发展的内在要求, 也是催生全球产业格局重大调整的根本动力。在网络系统层面, 以 5G、NB-IoT 为代表的低功耗广域网技术与工业以太网、短距通信技术等齐头并进, 为实现海量设备广覆盖、低时延、高可靠的智能化按需组网提供了

坚实支撑。在信息处理层面，人工智能、大数据、边缘计算、区块链与数字孪生等前沿技术，极大地增强了物联网的数据感知、智能处理、可信交换与精准决策能力，让数据真正成为驱动价值创造的核心要素。在平台生态层面，云计算与开源技术的普及，显著降低了物联网平台与操作系统的开发门槛，促进了全球物联网公共服务生态的持续繁荣与完善。

5 结束语

展望未来，终端连接数持续呈指数级增长，群体智能技术不断突破，物联网正在迈入以“多感知交互、多模式计算、多系统协同”为特征的“群智协同感知与服务”新阶段。这一阶段对网络基础设施提出了前所未有的新要求。

日益增长的物联网科技产业发展需求及应用引领下的新型智能化基础设施建设正成为推动社会形态与产业生态加速智能化变革的重要驱动力。随着数字技术与实体经济的深度融合，智能化社会发展对万物实现按需智联的巨大需求被催生并释放。物联网科技产业的发展与应用正从过去局部、封闭的垂直体系，向着更加广阔、开放和互通的生态架构演进。特别是人工智能与物联网的加速融合，正引领一场智能化基础设施建设的深刻变革，将网络从单纯连接万物，提升到“赋能万物”，并且实现人、机、物之间高效的按需交互与智能互联，标志着物联网科技产业发展正快步迈向智能化的新时代。

参考文献：

- [1] ITU. The Internet of Things: ITU Internet reports[R]. 2005.
- [2] ITU-D. Measuring the information society 2015-Chapter 5: the Internet of Things[R]. 2015.
- [3] 朱洪波. 物联网开启万物互联时代[N]. 人民日报, 2020(20).
ZHU H B. The Internet of Things opens the era of interconnection of all things[N]. People's Daily, 2020(20).
- [4] 朱洪波, 杨龙祥, 于全. 物联网的技术思想与应用策略研究[J]. 通信学报, 2010, 31(11): 2-9.
ZHU H B, YANG L X, YU Q. Research on the technical concept and application strategy of the Internet of Things[J]. Journal on Communications, 2010, 31(11): 2-9.
- [5] 央广网. 第一观察 | 习近平总书记首次提到“新质生产力”[EB]. 2023.
CNR News. First observation | General Secretary Xi Jinping first mentioned “new quality productivity”[EB]. 2023.
- [6] IoT Analytics. State of the IoT 2020: 12 billion IoT connections, surpassing non-IoT for the first time [EB]. 2020.
- [7] European Commission, NGIoT. Roadmap for IoT research, innovation and deployment in the EU[R]. 2022.
- [8] European Parliament, Council of the EU. General data protection regulation (EU) 2016/679[S]. 2016.
- [9] The White House. FACT SHEET: the American jobs plan[R]. 2021.
- [10] U. S. Congress. United States innovation and competition act of 2021 (S.1260) [S]. 2021.
- [11] 于杰平, 王丽. 数字经济背景下物联网发展态势与热点[J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(10): 1522-1527.
YU J P, WANG L. The development trend and hotspots of the Internet of things under the background of the digital economy[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(10): 1522-1527.
- [12] IPA. IoT safety guide v1.0[R]. 2016.
- [13] GSMA. The mobile economy China 2024 [R]. London: GSMA, 2024.
- [14] 中商产业研究院. 2025年中国物联网产业链图谱及投资布局分析[EB]. 2025.
Shenzhen Zhongshang Industry Research Institute Co., Ltd.. 2025 China's Internet of Things industry chain map and investment layout analysis[EB]. 2025.
- [15] IoT Analytics. From blue ocean to red lake: what happened to the 620+ IoT platforms, and what is ahead[EB]. 2025.
- [16] 中商产业研究院. 2025-2030年中国电子信息行业市场深度研究及发展前景投资预测分析报告[R]. 2025.
Shenzhen Zhongshang Industry Research Institute Co., Ltd.. 2025-2030 China electronic information industry market deep research and development prospect investment forecast analysis report[R]. 2025.
- [17] 中商产业研究院. 2023年珠三角地区电子信息产业发展现状分析[EB]. 2023.
Shenzhen Zhongshang Industry Research Institute Co., Ltd.. Analysis of the current situation of electronic information industry development in the Pearl River Delta in 2023[EB]. 2023.
- [18] 无锡市政府. 市政府关于印发无锡国家传感网创新示范区(无锡市物联网产业集群)发展三年行动计划(2023-2025年)的通知[EB]. 2023.
Wuxi Municipal People's Government. Notice of the municipal people's government on issuing the Three-Year Action Plan for the development of the Wuxi national sensor network innovation demon zone (Wuxi IoT industry cluster) (2023-2025)[EB]. 2023.
- [19] 米彦泽. 京津冀打造物联网全链条发展集聚区[N]. 河北日报, 2015(5).
MI Y Z. Beijing-Tianjin-Hebei region builds an Internet of Things full-chain development agglomeration area[N]. Hebei Daily, 2015(5).

- [20] 海南省人民政府. 海南省人民政府关于印发《海南自由贸易港享受个人所得税优惠政策高端紧缺人才清单管理暂行办法》的通知[EB]. 2020.
The People's Government of Hainan Province. The People's Government of Hainan Province announcement on issuing the interim measures for the list management of high-end and talent short personnel enjoying individual income tax preferences in Hainan Free Trade Port[EB]. 2020.
- [21] 新华社. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[EB]. 2021.
Xinhua News Agency. The 14th Five-Year Plan for economic and social development of the People's Republic of China and the long-range objectives through 2035[EB]. 2021.
- [22] 3GPP. Service Requirements for the 5G system: TS 22.261[S]. 2022.
- [23] 经济日报. 重点面向数字经济领域, 稳步发展融合基础设施——新基建进入科学布局新阶段[EB]. 2021.
Economic Daily. Focusing on the digital economy, the new-type infrastructure is steadily advancing the integration of infrastructure—a new stage of scientific layout[EB]. 2021.
- [24] 朱洪波, 杨龙祥. “互联网+”时代的智慧城市发展与物联网产业创新[J]. 信息通信技术, 2015(5): 4-5.
ZHU H B, YANG L X. Smart city development and the innovation of the Internet of Things industry in the era of “Internet +”[J]. Information and Communications Technologies, 2015(5): 4-5.
- [25] 朱洪波, 杨龙祥, 朱琦等. 物联网边缘服务环境的智能协同无线接入网及其关键技术[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2020, 40(5): 64-77.
ZHU H B, YANG L X, ZHU Q, et al. Intelligent collaborative wireless access network and its key technologies in the environment of Internet of Things edge service[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2020, 40(5): 64-77.
- [26] 工业和信息化部等. 物联网新型基础设施建设三年行动计划(2021-2023年)[S]. 2021.
MIIT, et al. Three-Year Action Plan for the construction of new infrastructure for the Internet of Things (2021-2023)[S]. 2021.
- [27] IIC. Organization and project overview[R]. 2024.
- [28] 国务院. 政府工作报告(2024年)要点: 低空经济首次写入报告[EB]. 2024.
State Council of the People's Republic of China. Key points of the government work report (2024): low-altitude economy is mentioned in the report for the first time[EB]. 2024.
- [29] 国家自然科学基金委员会. 关于发布未来工业互联网基础理论与关键技术重大研究计划2025年度项目指南的通告[EB]. 2025.
NSFC. Announcement on issuing the project guide for the major research plan of future industrial Internet foundation theory and key technologies for 2025[EB]. 2025.
- [30] 张平, 陈岩, 吴超楠. 6G: 新一代移动通信技术发展态势及展望[J]. 中国工程科学, 2023, 25(6): 1-8.
ZHANG P, CHEN Y, WU C N. 6G: the development trend and prospect of the new generation of mobile communication technology[J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(6): 1-8.
- [31] 陶元. 物联网跑出发展加速度[N]. Economic Daily. 2024.
TAO Y. The Internet of Things is speeding up its development[N]. Economic Daily. 2024.
- [32] 国务院. 国务院关于印发国家重大科技基础设施建设中长期规划(2012-2030年)的通知[EB]. 2013.
State Council of the People's Republic of China. Notice of State Council of the People's Republic of China on issuing the medium and long-term plan for the construction of major national scientific and technological infrastructure (2012-2030)[EB]. 2013.

[作者简介]



朱洪波(1956—), 男,《物联网学报》执行主编, 南京邮电大学教授、物联网研究院院长, 中国通信学会物联网专业委员会主任, 中国电子学会通信分会主任, 中国(无锡)物联网研究院院长, 主要研究方向为无线通信网络、移动通信与物联网等。



尹浩(1959—), 男,《物联网学报》主编, 中国科学院院士, 中国人民解放军军事科学院研究员, 中国电子学会物联网专家委员会主任, 中国(无锡)物联网研究院专家咨询委员会主任, 主要研究方向为军事通信网络、信息系统理论等。