

我国下一代信息网络技术应用与产业发展研究

徐丰¹, 张平², 杨宏^{3,4}, 闫晓丽¹, 陈岩², 郭中伟^{3,4}, 黄峰⁵, 沈英⁵, 陈磊⁶, 陈左宁^{7*}

(1. 中国电子信息产业发展研究院, 北京 100846; 2. 北京邮电大学, 北京 100876; 3. 北京空间飞行器总体设计部, 北京 100094; 4. 中国航天科技集团航天器数智技术创新中心, 北京 100094; 5. 福州大学机械工程及自动化学院, 福州 350108; 6. 中国工程院战略咨询中心, 北京 100088; 7. 中国工程院, 北京 100088)

摘要: 下一代信息网络技术是具有协同感知、泛在通信、算力辅助等增益特征的智能化信息网络技术, 事关信息网络基础设施、服务、运维、生态的产业化升级, 成为推进网络强国、数字中国建设以及促进数字经济发展的核心要素; 随着新兴信息技术加速演进, 信息网络底层范式与安全架构趋于重塑, 全球竞争焦点由规模扩张转向标准、算法与工程化能力主导的结构性竞争。在此背景下, 本文系统梳理了全球下一代信息网络产业发展态势, 认为通信网络产业进入多维分化阶段、物联网产业迈入智能化2.0时代、卫星通信产业进入星座体系化竞争阶段; 从通信网络、物联网、卫星应用方面出发, 识别了我国信息网络产业的发展现状、研判了面临的关键挑战、阐述了发展提升的主导思路。可在统筹技术研发布局、支持重大专项实施, 完善积极的财税政策支持、促进产业集群规模化发展, 建立公共服务平台、加强标准制定和安全保障能力, 提升国际交流层次、务实开展国际合作等方面采取行动, 保障我国下一代信息网络技术应用与产业发展。

关键词: 下一代信息网络; 物联网; 卫星通信; 数字经济

中图分类号: TN9; F42 **文献标识码:** A

Application and Industrial Development of Next-Generation Network Technology in China

Xu Feng¹, Zhang Ping², Yang Hong^{3,4}, Yan Xiaoli¹, Chen Yan², Guo Zhongwei^{3,4},
Huang Feng⁵, Shen Ying⁵, Chen Lei⁶, Chen Zuoning^{7*}

(1. China Center for Information Industry Development, Beijing 100846, China; 2. Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China; 3. Beijing Institute of Spacecraft System Engineering, Beijing 100094, China; 4. Digital Intelligence Innovation Center for Spacecraft, China Aerospace Science and Technology Corporation, Beijing 100094, China; 5. School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China; 6. Center for Strategic Studies, Chinese Academy of Engineering, Beijing 100088, China; 7. Chinese Academy of Engineering, Beijing 100088, China)

Abstract: The next-generation network technology is an intelligent information technology with the characteristics of collaborative perception, ubiquitous communication, and computer assistance. It is highly related to the industrial upgrading of network infrastructure, services, operation, maintenance, and ecology, and has become the core factor to the development of network construction and digital economy. With the accelerated evolution of emerging information technologies, the underlying paradigm and

收稿日期: 2025-07-09; **修回日期:** 2025-11-09

通讯作者: *陈左宁, 中国工程院院士, 研究方向为体系结构和系统软件; E-mail: chenzuoning@vip.163.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“福建省下一代信息网络应用及发展战略研究”(2024-DFZD-06), “福建省光电产业集群发展战略研究”(2023-FJ-ZD-4), “内蒙古全国一体化算力网络国家枢纽节点建设与智算多场景发展战略研究”(2025-NM-ZD-01), “‘十五五’时期数字经济发展战略研究”(2025-XZ-18)

本刊网址: scae.engineering.org.cn

security architecture of networks tend to be reshaped, and the focus of global competition has shifted from scale expansion to structural competition dominated by standards, algorithms, and engineering capabilities. This study reviews the development trends of the global information industry, and reveals that the network industry has entered a stage of multi-dimensional differentiation; the Internet of Things industry has entered the era of Intelligence 2.0; and the satellite communication industry has entered a stage of systematic competition among constellations. This study also identifies the development status and key challenges of China's information industry, and presents the main ideas for development and upgrading accordingly. To ensure the application and industrialized development of the next-generation network technology in China, the following policy recommendations are proposed: (1) coordinating the layout of technological research and development while supporting the implementation of major special projects; (2) developing large-scale industrial clusters by providing taxation policy support; (3) establishing public service platforms to strengthen the capacities for standards setting and security assurance; and (4) promoting international exchanges by pragmatically carrying out international cooperation.

Keywords: next-generation network; Internet of Things; satellite communication; digital economy

一、前言

下一代信息技术是智能化信息技术，具有协同感知、泛在通信、算力辅助等增益特征，成为新型计算机和信息终端设备、网络设备、信息安全设备制造产业的基础要素^[1-3]。现阶段，下一代信息技术正在引领信息网络基础设施、服务、运维、生态的全面升级^[4,5]。信息网络基础设施正在向“泛在万兆、超宽承载、立体覆盖”的下一代高速泛在网络演进，万兆光网基础设施建设加快，网络带宽及传输协议朝着高速率方向迭代，“空地”一体化网络将提供无边界“泛在”宽带体验，引领终端设备超宽带发展、智能应用多元化发展^[6]。信息网络服务正在向“通感算一体、云异构、端到端、确定承载”的服务架构演进，端到端“通感算”一体化服务、确定性网络支持各类智能应用和智算业务优化，保障算力、网络资源、数字业务的精准匹配^[7]。信息网络运维体现“高阶自智、边缘人工智能(AI)、数字孪生、智能体通信”发展趋势，高阶自智网络演进加快，数字孪生标准体系逐步统一，边缘智能持续优化物联网应用，信息聚合、开放共享程度显著提高^[8,9]。信息网络生态朝着“绿色低碳、内生安全”的低碳网络技术方向演进，网络重构、光电混合、系统级节能技术有效降低运行能耗，主动防御安全模式切实保障内生安全^[10]。此外，量子互联网正在推动网络架构从协议分层向纠缠组网发展，未来将与经典互联网实现算网协同。

从发展趋势来看，下一代信息网络产业将在促进全球数字经济发展和产业转型方面发挥重要作用。信息网络产业作为新型生产要素的价值凸显，应扩大新型信息网络基础设施建设，以推动产业链生态再造与转型升级，促进近邻区域协同发展，激

发地方数字经济创新活力^[11-13]。美国、中国、德国、日本、韩国的数字经济总和超过33万亿美元，数字经济占各国国内生产总值(GDP)总和的60%^[14]；我国GDP中数字经济的占比为42.8%，对GDP增长的贡献率达到66.5%^[15]。在信息技术对数字经济发展产生重要推动作用的背景下，发达国家和地区积极发布顶层战略与行动指南，推动下一代信息网络技术创新与应用发展，如美国、欧盟、英国、德国、澳大利亚、日本等围绕信息网络技术创新升级重点方向展开布局^[14]。在此背景下，我国可采取适度超前原则，针对下一代信息网络开展技术应用梳理与产业发展研究，以明确未来一段时期内的发展重点及路径，确保网络强国、数字中国建设的科学延续和精准落实。然而，现有研究未能充分关注下一代信息网络产业发展，仅零散论述了产业创新能力指标^[16]、地方产业集群^[17]等。

《工业战略性新兴产业分类目录(2023)》将下一代信息网络产业划分为新型计算机和信息终端设备、网络设备、信息安全设备制造，每个分类下均包含通信网络、物联网、卫星应用3大细分产业的重点产品与服务^[18]。为了契合各类细分产业的发展实际，本文主要从通信网络、物联网、卫星应用三方面开展下一代信息网络发展研究，在系统梳理全球发展态势、我国发展现状以及面临挑战的基础上提出产业提升思路和对策建议。相关分析和所提建议主要基于我国东南沿海省份的实地考察与研究，供各地管理部门和信息网络科技工作者参考。

二、全球下一代信息网络产业发展态势

(一) 新兴技术演进与发达国家发展布局

新兴技术快速突破，正在重塑全球信息网络的

底层范式。AI 驱动网络体系由被动传输向智能感知与自决策跃迁，大模型赋能的流量预测与资源调度支持算力、存储、带宽的动态协同配置，显著提升业务响应能力与效率。量子计算正在重构网络安全体系，传统的加密与传输协议面临挑战，量子密钥分发、量子中继网络有望成为未来可信通信的核心基础。“通感算”一体化、数字孪生技术加速虚实融合，赋予网络以预测、学习、自演化等能力，推动从连接导向跃升至智能协同导向。整体上，AI、量子计算、“通感算”融合的集成演进，不仅在技术层面深刻影响网络架构与安全模型，而且对算力布局、产业生态、治理体系构成冲击，对下一代信息网络的发展规划与政策设计提出新的要求。

在技术范式变革的背景下，发达国家加快战略部署，围绕“第六代移动通信（6G）-算力网络-‘通感算’融合-量子安全-绿色低碳-标准与合规”构建下一代信息网络体系；也从规模扩张转向标准、算法与工程化能力主导的结构性竞争，优先通过标准化与工程化形成可复制、可评估、可交易的网络服务体系，进而以能效与安全标准构筑软性壁垒。美国以 6G 与 AI 原生网络、“算力-数据-算法”一体化为主线，侧重源头创新与标准输出，对外开放无线电接入网、网络操作系统、高端器件研发以保持技术领先，辅以联邦拨款、国防采购、出口管制等措施，构建全球产业支配能力^[19]。欧盟依托“数字十年”行动计划，强调绿色低碳、安全可信双重约束，构建统一标准体系、跨境算力走廊，利用法规与认证机制建立规则壁垒，形成相关产业的协同与合规优势^[20]。日本围绕“通感算”一体化、端到端的服务等级协议工程化应用，以设备、软件、场景的精细化闭环为路径，增强中高端器件、协议实现方面的“微创新”优势^[21]。韩国立足 K-Network 2030 战略目标，强化以技术原创为重心的 6G 研发，一体化推进标准、产品、终端、内容，形成高效的商业化路径^[22]。

（二）通信网络产业进入多维分化阶段

从量化指标角度看，全球通信网络的发展差异已从是否建设、规模扩张的阶段演化为以渗透效率、部署密度、协议迁移结构为特征的深层分化阶段。① 在用户渗透方面，北美地区的第五代移动通信（5G）订阅占移动用户比例约为 70%，东北亚

（含中国、日本、韩国）地区约为 52%，西欧地区约为 41%^[23]。② 在基础设施侧，结构排序则呈现差异，中国 5G 基站数量居于首位并显著高于其他经济体，北美、西欧强调基于产业价值密度、收益预期实施重点区域部署。③ 在协议演进层面，互联网通信协议第 6 版（IPv6）原生化进程出现结构分层现象，如美国（52.9%）、日本（54.9%）、德国（63.2%）处于中高采用率区间，中国（21.2%）、韩国（18.3%）处于中低采用率区间，印度（73.04%）为全球最高^[24]。全球下一代信息网络演进路径呈现异质性，与不同国家的互联网通信协议第 4 版存量规模、过渡成本结构、骨干链路升级路径、激励机制存在差异相关。

从接入侧渗透效率、基础设施部署密度、协议迁移节奏等维度看，全球经济体信息网络发展的结构性差异可归纳为以渗透效率为特征的成熟高采用型、以超大规模基站密度为特征的覆盖型、由制度规制与标准治理主导的规范驱动型等主要演化路径；我国更接近以超大规模基站密度为特征的覆盖型路径特征。

（三）物联网产业迈入智能化 2.0 时代

AI 技术工具迎来爆发，传感、通信、计算能力持续融合，标志着智能物联网（AIoT）从聚焦基础物联设施建设的 1.0 时代进入聚焦多元物联终端智能化的 2.0 时代。对应地，物联网概念的内涵从实现泛在连接的基础设施拓展为人、信息空间、物理空间深度融合的复杂系统^[25]。在这一范式下，领域发展重点转向通过网络与算力的动态按需配置实现通信、计算、AI、感知、安全能力的融合，以提升系统自适应、协同性、服务价值。未来，AIoT 与边缘物联网将在 AI、数字孪生、算力设施的推动下迎来融合行业应用的发展机遇期。2024 年的全球物联网连接数约为 1.82×10^{10} 个（其中蜂窝连接数约为 4×10^9 个），预计 2030 年前将保持 15% 的年复合增长率；固定无线接入在 5G 物联网连接中的占比为 45%，反映连接方式趋向多元化与高级化^[26]。

全球主要经济体的物联网演化路径呈现显著的分化特征。生产效率型、可信规制型、高密度凝聚型、规模基础型的发展路径分化，表明全球物联网产业处于“结构-效率-价值”差异化结合的发展阶段。在美国，物联网与制造业、能源运营、

交通组织的结合最为紧密，以工业自动化、能源系统、供应链协同为主要场景，强调提升每个单位连接的产出效率，具有鲜明的生产效率导向特征。在欧盟，物联网部署受到环境制度的明显影响，数字产品护照、碳排放核算、供应链尽职调查等制度正在将物联网嵌入可验证数据、可信治理等框架；产业发展导向强调低碳绩效、透明披露、可确认的责任约束，发展优势主要来自制度能力与规制体系而非连接数量。在韩国，物联网发展侧重车联网、智能终端，通过行业集中加快系统成熟度，形成较强的行业凝聚特征，以行业集中带来的渗透增强为主要特征。在我国，物联网侧重在公共事业、城市治理、安防监控、交通出行等场景下扩展连接覆盖，使物联网成为数字基础设施的系统性组成部分；以系统性应用与基础平台构建为主要特征，经由广覆盖、多场景嵌入构成数字基础设施能力。

（四）卫星应用产业进入星座体系化竞争阶段

全球卫星应用产业的发展范式由以技术代际更替拉动的规模型扩张转向以星座体系结构完整度、数据产出效率协同提升为核心的结构化演进。卫星遥感、AI、低轨通信星座、星地感知等关键能力驱动产业链的纵向延展，应用重心从传统的国防安全配置拓展至包括自然资源管理、城市治理、灾害响应在内的多元化公共与生产性服务场景。2024年，全球商业航天收入规模约为2890亿美元，未来10年内全球空间经济规模有望提升至1.1万亿美元^[27]。

美国以低轨宽带与订阅业务作为重点方向、规模驱动和商业化能力为核心优势，低轨星座在轨数量超过6000颗^[28]，实现星座密度、用户订阅、数据业务三方面可验证的商业化融合发展。欧盟构建“区域公共服务+关键行业保障”的双定位星座体系^[29]，尽管在轨数量有所不足，但在跨境频轨协调、网络安全规制、空间数据治理机制方面已形成制度化优势。日本在更新的《宇宙基本计划》中提出，以端到端工程可实现性为基本原则，推进星座体系配置^[30]，强调遥感、通信、中继、地面数据服务的协同落地。韩国在“国家空间发展总体规划”中提出，将车辆级、消费级应用作为主要牵引环节，通过特定行业集中快速提升星座能力成熟度^[31]。中国、印度则呈现以应用场景驱动扩张的特

征，尽管星座总体规模与商业闭环成熟度尚不及国际先进水平，但在遥感数据需求增长、“通导遥”融合试验、行业验证场景拓展等方面进展良好^[32]。

上述结构性差异表明，卫星应用产业的国际比较已不再停留于在轨数量，而是转向星座密度的可持续性、在轨数据获取与地面解译的衔接效率、行业服务链条的闭环形成速度等先进指标。未来的产业竞争格局取决于将卫星数据纳入可计算、可验证、可交易的价值形成机制，使卫星能力从辅助配置转化为可计量的生产要素。

三、我国信息网络产业发展现状

在全球信息网络加速重构的背景下，我国信息网络产业正处于由规模领先向体系引领转型的关键阶段，产业发展重点也从基础设施规模化覆盖和迭代逐步转向新型技术研发、应用融合创新、国产化能力提升。

（一）通信网络产业

1. 基建规模持续扩大、支撑能力显著提升

在互联网接入方面，宽带接口持续增长，接入用户向千兆规格持续转移。截至2024年年底，我国固定互联网宽带接入端口数为 1.202×10^9 个，同比增加 6.612×10^7 个，其中光纤接入端口数为 1.16×10^9 个，占比提升至96.5%；具备千兆网络服务能力的10G无源光网络端口数为 2.82×10^7 个，同比增加 5.183×10^6 个；主要基础电信企业的固定互联网宽带接入用户总数为 6.7×10^8 户，同比增加 3.352×10^7 户，其中百兆及以上接入速率的用户占比为94.9%^[33]。2024年，我国IPv6地址拥有量和用户规模均居于全球前列，终端活跃连接数为 1.765×10^9 个，活跃用户数为 7.94×10^8 个，占网民总数的72.7%^[21]。2025—2030年，我国通信基建设备数量有望保持10%左右的增速，通信网络市场空间将持续拓展。在5G方面，我国建成全球规模最大、技术最先进的独立组网网络，行业虚拟专网约为 2.9×10^4 个；融入97个国民经济大类中的74个，涵盖工业、医疗、教育、交通等，在大型工业企业中的部署率为37%，后续发展空间广阔^[4]。截至2024年年底，我国移动通信基站总数为 1.265×10^7 个，其中5G基站占比为33.6%；5G移动电话用户为 1.014×10^9 个，

占移动电话用户总量的56.7%^[33]。

2. 技术研发和应用创新能力不断增强

我国已全面开展信息通信网络的关键技术、系统设计、标准制定、产品研发、网络试验攻关,推动5G、云计算、大数据中心等新型基础设施建设,加快传统基础设施数字化转型以及车联网、物联网、工业互联网应用,形成以集成电路、基础软件、云服务为代表的产业化核心技术体系。高性能计算领域保持优势,5G领域实现技术、产业、应用领先,北斗卫星导航系统完成全球组网,芯片自主研发能力取得阶段性突破,国产操作系统性能大幅提升,大数据、云计算、工业互联网、AI、区块链等信息技术创新应用能力跻身世界一流行列。

在6G、自智网络、数字孪生网络等方向全面布局了基础理论、关键技术、行业标准、场景应用研究,增强了通信网络技术原创策源能力^[34]。正在围绕信息通信网络转型和算网融合,强化关键技术系统性创新、布局新型网络架构,加速“空天地”一体、“通感算”一体、智慧内生、安全内生等发展,进一步提升通信、感知、传输、存储、计算、安全能力。面向通信网络、异构计算,完善开源环境,建设信息通信网络产业发展云协同系统,推进互联互通开放社区和新业态发展。

(二) 物联网产业

1. 建成规模大、覆盖广、性能优越的基础设施

我国蜂窝物联网应用规模稳步增长,在全球范围内率先实现“物”的连接数超过“人”的连接数。主要基础电信企业发展移动物联网终端用户约为 2.78×10^9 个,超过移动电话用户和互联网宽带接入用户之和^[35]。预计到2027年,基于长期演进技术类别1和5G,具有高低搭配、泛在智联、安全可靠特性的移动物联网综合生态体系将进一步完善,5G轻量化蜂窝物联网有望实现全国县级以上城市的规模化覆盖,并向重点乡镇和农村地区延伸覆盖;移动物联网终端连接数有望突破 3.6×10^9 个,相应接数占比将超过95%;建设5个以上的移动物联网产业集群、10个以上的移动物联网产业示范基地,形成一批亿级、千万级连接的应用领域。

2. 与各行业应用融合协同发展

结合典型应用场景来看,我国物联网技术在智

能制造领域已经适配多类行业的大型装备制造、数字化产线建设,实现全生命周期内的质量管控、智能精益化运维、数字孪生协同建设、安全监测、精准治理,具有建设跨国远程实时数字工厂的能力。在智慧能源领域,实现“感存算”一体的智能全域感知、全景监测以及“云边端”协同的能源管理,有效应用于石油化工、“水风光蓄”多能互补、海上风电和油气、矿山值守等细分方向。在智慧物流、交通领域,应用多源融合感知和数字孪生技术,实现自动驾驶配送、海运实时感知、铁路货运枢纽治理等交通智能运维以及“天空地”一体化智能监控。在社会治理领域,形成“省-市-县”三级数字政府感知解决方案,面向城市、社区、居家提供智慧文旅、智慧医疗、智慧养老、智慧医疗、智慧环保等综合服务能力。在智慧农业领域,形成大数据农田种植、农产品流通溯源等方面的示范经验,通过精准调控有效提升单产和加工能力。

(三) 卫星应用产业

我国卫星应用产业已形成“自主可控、多点支撑”的发展格局,朝着高性能、系统化、产业化方向快速演进。北斗卫星导航系统实现全球覆盖,作为核心基础设施在交通运输、电力调度、智慧农业等领域开展规模化部署与应用,显著提升相关行业的运行效率与智能化水平。2024年,以北斗卫星导航系统为核心的卫星导航与位置服务产业总产值为5758亿元,同比增长7.4%^[36]。在遥感领域,国家政策引导、多元化市场需求共同推动国产商业遥感卫星应用取得突破性进展。“吉林一号”星座发展成为全球最大的亚米级商业遥感卫星星座,具备对全球任意地点进行高频次重访的能力,支撑自然资源监测、城市管理、灾害响应等重要应用^[37];商业航天企业加快低轨通信星座组网与卫星制造环节的本地化进程,推动卫星产业由“可用”转向“好用”“易用”,成为国家级空间信息基础设施体系的重要组成部分^[38]。

四、我国下一代信息网络应用面临的挑战

(一) 下一代通信网络应用

算力网络基础设施布局与共享机制有待完善^[39]。通用算力规模占比最高,超算算力、智算算力规模

较小，异构算力发展失衡，智能算力供给存在缺口，致使国内产业依赖进口芯片，算力结构亟待优化。鉴于算力区域发展条件差距悬殊，综合算力建设较多位于“东数西算”八大枢纽内，又以广东、江苏、上海等东部算力枢纽节点所在省份处于领先地位，而西部地区存在人才、资金等方面的劣势，且当地的算力应用需求明显不足。此外，绿算发展滞后不利于挖掘未来发展潜力。我国数据中心耗电量持续提升，算力相关的电力负荷预计从2023年的 3×10^7 kW提升至2030年的 1.05×10^8 kW^[40]，部分传统数据中心因负载率偏低、绿色管理措施落实不足而致能效提升迟缓。

应用成本高昂、数据安全性不足，成为阻碍制造业升级的主要因素。制造业升级时对网络带宽、低时延、可靠性等提出了极高要求，而降低应用成本依赖进一步的规模效应才能实现。现有的信息通信网络融合示范项目集中在少数营收规模为百亿元级的大型制造企业，而众多中小规模制造企业能够提供的数字化改造预算普遍不足，导致数字化改造进程相对迟缓。外向型企业因对经营和经贸数据安全存在顾虑，近年来接受信息化改造的意愿有所降低，也在一定程度上抑制工业互联网平台对传统产业的改造效果。

行业融合创新环境有待优化。跨部门、跨行业的公共信息服务平台建设力度相对不足，制约跨领域的融合创新与应用，导致物联网、大数据等信息技术在相对偏远地区的应用推广缓慢，数字化、智能化的贯通程度较低。例如，一些地方在城市管理、交通、环保、医疗等领域虽然拥有大量的数据资源，但各类数据无法实现互联互通和共享共用，对智慧城市建设的支撑作用发挥不足。

高端信息化人才存在引进与培育缺口。相较于一线城市和经济高度发达地区，中西部、东北地区在薪资福利、科研资源配套、职业发展前景等方面存在明显的差距，导致技术研发专家、软件工程师、AI算法专家等人才储备不足，影响当地高成长性企业通信技术研发、大数据平台搭建、工业互联网应用落地。各地的信息化人才培养专业设置、课程体系未能贴合信息通信产业的实际需求，部分边远地区高校的信息化专业课程内容陈旧、师资力量薄弱、实践教学条件有限，导致本地培育人才与发达地区相比存在不小的差距。

（二）下一代物联网应用

我国物联网芯片制造、数字化服务创新布局与国外存在一定的差距。美国、日本、韩国在物联网专利布局方面各有侧重^[41]：对于硬件制造，日本在传感器、环境监测方向的布局较强，美国在控制器、电路器件、基础设备方向排名前列；对于数字化服务，美国和韩国在智能终端、防伪技术、数据通信等方向具有领先地位，日本在电子数据信息处理、通信控制、数据识别、网络服务方向具有较强研发能力。相比之下，我国的物联网专利布局偏重各类生产生活以及数据处理、网络通信、物联网平台商业化应用，但在物联网关键传感器、芯片、通信模组、通信网络方面的研发创新能力较为薄弱，创新能力和技术储备深度与国际先进水平存在差距。

下一代物联网应用融合发展面临系统性整合挑战。平台体系架构以及系统异构集成、优化、智联能力亟待突破，诸多行业的物联网融合应用存在互联互通困难、数据开放共享及隐私保护力度不足等问题。例如，在智能制造领域，较多物联网项目因实现成本过高或者预期效益不明朗而未能通过概念验证阶段；在智慧农业、能源、医疗、环保等领域，商业化物联网平台尚未普及，管理部门、企业、用户之间存在信息技术和行业管理壁垒，多源数据共享及服务整合问题突出。供需两端缺乏有效的碎片化整合。终端智能化、软硬件解耦合、终端与厂商/服务商松耦合、终端与云端协同化发展等均有不足，多类应用场景的基础数据、软件、模型等资源的横向联系未能打通，面向典型场景内外系统通信的安全方案依然缺乏；难以满足物联网用户期望的碎片化终端需求，未能实现终端不受品牌及类型限制而能即插即用、网络配置可自动适配用户和终端变化、服务入口支持全联通调用和统一管理。

下一代物联网安全管理和隐私数据保护亟待加强。复杂物联网安全架构多采用分布式部署，而当前的物联网智能终端通常有海量接入用户，故采用中心化与去中心化混合的架构对访问控制系统提出直接挑战，难以同时适应设备、用户、云端服务之间的访问控制，安全架构过于复杂而不易保证物联网通信的安全性^[42]。现阶段，我国大部分物联网系统虽然设置了访问控制系统，但缺少类似互联网领

域中统一的访问控制框架及协议；各个物联网系统自主实现的访问控制系统，多数未经安全性测试，不易保证用户和设备的安全，也因无法直接对接而致系统之间共享数据存在安全隐患。在发达国家普遍发布针对物联网产品的网络安全标签计划的背景下，我国亟待实施“中国物联网安全标签行动计划”，加快建立与国际标准兼容的物联网安全标签认证体系。

（三）下一代卫星应用

发展卫星应用需加强产业链协同。我国下一代卫星应用产业的重心仍集中在卫星制造、火箭发射等上游环节，而地面设备、遥感服务、终端应用等中下游环节发展缓慢，应用开发等下游环节更显滞后，相应市场份额多被国外企业占据。根据国家航天局的统计数据，全国商业航天企业超过500家，其中运载火箭研制企业有49家、卫星研制企业有141家、卫星运营企业有178家，而卫星应用企业仅有154家，产业布局整体偏向上游环节。受此影响，国内卫星应用市场尚未有效打开，尤其是面向个人用户的终端应用缺乏规模支撑，盈利模式尚不清晰，不利于释放产业链的整体价值。

关键应用器件国产化替代亟待加速。我国下一代高分辨率遥感核心技术未能全面突破，一些核心关键器件依赖国际供应。近年来虽在光谱、超高分辨率光电遥感等技术方向上取得阶段性突破，但微机电系统芯片、高精度编码器芯片、高精度全球导航卫星系统接收机等核心组件高度依赖国外供应商，相关高精尖设备的国产化率偏低^[43]。国际市场上高端遥感器件呈现高度垄断的格局，一旦出现相关技术封锁和贸易限制，将直接影响我国高精度遥感系统的自主建设进程和商业化推广应用。

北斗应用优先政策体系亟需完善。在关键应用领域，北斗卫星导航系统的主导地位尚未确立，下一代卫星工程化应用相对滞后。相关法律法规未对北斗优先应用提供强制性保障，加之跨部门协同推进机制不够健全，导致各行业在导航系统选型上主要依赖市场惯性，未能破除北斗应用推广面临的制度性和结构性障碍。虽然政策层面倡导北斗应用优先，但是在金融、能源、电力等重点行业中的替代应用进程缓慢，尚未形成实质性的主导格局。此外，商业航天发展势头迅猛、市场需求持续扩大，

但可重复使用运载火箭等关键技术装备仍处于地面试验阶段，尚未实现飞行验证，相关技术的工程化应用进展滞后也制约着航天应用能力的整体性提升。

五、我国下一代信息网络产业提升思路

（一）下一代通信网络产业

1. 加强前沿技术研发、规模化部署、应用场景创新

持续推进5G演进（5G-A）和6G技术研发。及时转化5G、6G关键技术攻关成果，发挥5G-A技术的牵引作用，面向低空经济、智能制造、智能网联汽车等场景建设5G-A网络。布局6G技术研发实验设施，为芯片、模组、终端等方面的技术突破提供研发和试验环境，促进在6G技术领域抢占发展先机。

深入推进IPv6规模化部署和应用。加强IPv6核心技术研发，可采用“揭榜挂帅”等方式，推动协议转换、网络安全、设备兼容等方面的核心技术难题攻关。深化IPv6网络架构、应用场景创新、安全设施建设，推动IPv6技术在工业互联网、智慧金融、智能制造等行业领域中的深入应用，鼓励跨行业、跨企业的协同创新，促进IPv6应用与数字经济共进发展。

加快建设一体化算力基础设施体系。科学统筹全国算力基础设施建设，依托各地数字产业园区部署数据中心集群，规模化、集约化建设“存算”一体的新型数据中心。深化算网融合发展，以网络支撑算力应用为核心，推动数据中心、智算中心等算力设施的互联互通，提高算力资源的利用效率与调配能力，为AI、大数据等新兴产业发展提供充足的算力支撑。

深化5G+、5G-A等应用场景创新。部署5G-A“通感”一体低空协同组网、“5G+工业互联网”融合应用等试点，将5G+、5G-A等技术拓展应用到更多领域。探索6G应用场景和商业化模式，为经济社会的数字化转型注入新动力。

培育智能化新技术应用和产业生态。推动AI技术研发和产业化发展，深化区块链基础设施建设，培育良性的产业生态，推动虚拟现实/增强现实技术在各类民生服务领域中的应用，深化5G+、

IPv6+、算力+、AI+应用融合创新。

2. 提高产业集群发展质量并完善产业生态

在产业协同方面，积极发展以地方产业园区为载体、骨干企业为龙头的千亿元级产业集群；加强产业链上下游合作，促进资源共享、优势互补，提高制造业规模以及设备、材料的自主配套能力，增强智能硬件和终端产品的国际竞争力。

在融合应用方面，建设一批具有国际竞争力的产业化平台，推动“5G / 6G+工业互联网”深度融合，实现规模以上企业数字化转型全覆盖；推动智慧城市、医疗、教育、交通、能源等领域中生产方式、管理模式、商业模式的变革，促进教育、医疗、文化等公共服务资源的普惠共享，提升城乡数字化和智能化水平。

在绿色低碳方面，引导信息通信业行业朝着绿色、低碳、可持续发展方向转型，推广绿色数据中心并应用节能通信技术，降低碳排放强度；新建大型数据中心电能利用效率控制在1.1以下，提高对行业“双碳”行动的贡献度。

在安全保障方面，构建一体化网络安全与应急保障体系，提高关键信息基础设施的安全防护能力，确保防护达标率为100%；增强网络安全事件和突发公共事件的应对能力，保障国家信息和社会稳定。

（二）下一代物联网产业

1. 以全产业链技术研发推进应用平台与软件创新

在物联网感知和硬件产品方面，围绕射频识别无源物联、“通感算”一体、高精度定位、智能传感、毫米波雷达应用等，发展新型物联架构和特色工艺，构建具有国际市场竞争力的物联网芯片设计和制造业；形成覆盖物联网传感芯片研发设计、特色工艺制造、封装与测试、装备与材料的完整产业链，补齐物联网输出端、电性连接、芯片半导体技术等产业短板。

在物联网传输方面，围绕6G专网模组、5G广域网模组形成系统级封装配套产业链，推动智慧物联网通信模组及定位模组的设计和研发以及与软件云方案的有效结合，提升数据接入速率和边缘计算能力；利用规模化优势推动智慧工厂物联网数字化转型，提升林业、矿山、危险化学品等

重点行业的安全隐患排查覆盖度和实时应急能力。

在物联网平台方面，推动全国统一感知标准、协议适配、设备接入、数据共享、应用发展，支撑AI物联平台建设；推动物联网数据共享和互联互通，开展海量物联网终端设备的全生命周期智慧管理；实施物联数据的标准化提炼、智能诊断分析、运行监控、智能预测，拓展工业制造、农业生产、产业园区、环境保护、交通物流、能源管理、安全管理等方面的应用场景。

在物联网软件和应用服务方面，提高与特色产业和城市管理的适配度。①对于“农林牧渔”应用，建设数字田园灌区和智慧“农林牧渔”场，推动农村水利、农业生产加工等传统基础设施的物联网转型，有效支撑大田作物的精准播种收获、施肥施药，畜禽水产养殖，渔船 / 渔港智能化，提升“农林牧渔”业的重大风险安全保障能力；推进农村地区粮库、冷链物流、农业生产加工等基础设施的数字化和智能化转型，支撑林长制管理、林业碳汇管理。②对于智慧物联网的电网应用，建设城市级能源综合管理平台，支持电网与光伏电站、抽水蓄能电站、储能电站、大功率充电桩的智慧物联，增强电源侧、电网侧、用电侧的全域和全程在线感知、数据采集、网络传输、数据中台等基础条件，完善多源协同、“双碳”管理等功能，形成数字化和智慧化的能源“产供销”体系。③对于城市物联生态应用，推进AIoT设施嵌入数字城市建设体系，扩大物联网在城市燃气、交通、通信、水务、路桥等领域的共享应用范围，支持实现“一网统管”管理模式；统筹推进综治、城管、市政、环保、绿化、交通、应急、消防等领域中城市管理系统的网格管理和联勤联动，提升市政基础设施运营和管理水平；健全信息化监测体系，完善物联网接口调用安全和隐私保护能力。

2. 打造千亿级物联网产业集群

引导全国主要的物联网集聚区协同推进下一代物联网产业链“建延补强”，完善先进信息通信网络和新型基础设施布局，优化物联网平台发展环境；完善行业标准规范，推动下一代重大物联网传输平台项目建设以及新型物联网感知终端、平台、网络设施的规模化部署，形成一批千亿元级物联网产业集群。支持龙头企业高效开展研发、

测试、孵化、标准制定等工作，形成一批与行业适配的解决方案和应用标杆，促进传统产业转型升级和创新应用规模化发展；由龙头企业带动产业链上下游企业成长，形成不同规模企业融通发展的良好局面。培育一批物联网专精特新“小巨人”企业，成为物联网前沿细分方向中先进终端产品和数字化应用的解决方案供应商。培育一批物联网传输运营服务商和平台，提高物联网方案设计、集成实施、网络运维、经营管理、网络信息安全防护等服务能力。

（三）下一代卫星应用产业

1. 构建综合性“空天地”一体化系统

推动通信、导航、遥感、量子通信、AI等前沿技术与卫星应用的深度集成及系统演进，支撑国家空间基础设施的体系化升级、数字经济的整体性跃升。

在空间信息通信体系方面，形成以大规模低轨道星座为基础、“天地”融合互联为特征的下一代广域通信网络发展格局，建设覆盖全球、低时延、高带宽的“星地”一体化通信基础设施，为空天信息实时传输、泛在连接提供坚实支撑，构筑自主可控的信息主干通道。

在空天信息感知体系方面，推动多轨道、多星系、多载荷的空间基础设施统筹部署与协同运行，构建多频段、多尺度、多任务并行的空天观测能力，拓展从精准定位、环境监测到深空探测的广义感知覆盖范围，满足发展安全、资源管理、科学研究等方面的需求。

在智能化演进方面，构建以量子通信、边缘计算、AI为核心支撑的分布式空间智能体网络，形成任务级动态调度、数据级就近处理、网络级自适应优化能力，支撑高复杂度、高动态性任务场景下的智能决策与协同响应，推动空间系统智能能力的跃升。

在新型安全体系构建方面，加快发展以“星地”一体化量子通信网络为支撑的空间信息安全架构，构建国家级量子密钥分发能力，筑牢未来信息安全与战略通信体系的关键技术基础。

在综合服务能力方面，构建“天地”融合、智能协同的信息服务生态系统，推动定位导航、遥感观测、通信连接等基础能力与终端应用的深度融

合，形成面向自然资源监管、生态环境保护、灾害风险防控、智能交通出行、农业精准管理、碳排放监测等关键领域，具有泛在化、智能化、业务化特征的信息赋能体系。

在国际发展维度，形成具有全球供给能力的卫星信息服务体系，向“一带一路”共建国家延展，增强我国在国际空间治理、技术标准制定、全球服务市场竞争中的话语权与影响力，把握国际空天应用格局中的主导地位。

2. 提升核心元器件自主可控能力和北斗优先替代能力

实施核心器件国产化攻坚工程，构建遥感技术自主可控体系。针对遥感系统在关键核心器件方面存在较强外部依赖、制约系统自主发展的关键短板，将高分辨率遥感核心部件纳入国家关键技术自主攻关目录，定向支持高精度图像传感器、高精度光学元件、稳定成像平台等关键器件的原始创新、工程化研发、规模化生产，贯通从基础材料、关键器件到整机集成的自主技术链条。加快构建以“产学研用”深度融合为导向的遥感装备协同创新机制，推动科研院所、高等院校、优势企业开展协同攻关和联合转化。在国家重大遥感任务中优先部署国产器件，强化示范应用的带动效应，逐步实现核心部件的自主可替代，全面提升遥感系统的技术安全性、产业自主性、综合保障能力。

加快制定和完善北斗优先应用机制，推动北斗卫星导航系统在电力调度、通信授时、交通运输等关键行业中实现深度替代与标准化接入，增强系统应用的一致性与可靠性。在系统安全层面，加强多源导航冗余体系建设，构建以北斗卫星导航系统为核心、与其他同类系统兼容的高鲁棒性架构，提升极端条件下的独立运行能力。设立行业级北斗数据安全监测与风险预警平台，提升对异常信号干扰、非法数据篡改等潜在威胁的识别与防控能力。

六、我国下一代信息网络产业发展建议

（一）统筹技术研发布局，支持重大专项实施

完善下一代信息网络产业支持政策体系，实施产业发展重大专项，增强迭代升级能力。① 协同推

动“十五五”信息化政策延续。科学制定“十五五”时期信息网络产业发展规划，保持国家、省、市、产业园区等层面规划的紧密衔接。发挥国家新型基础设施建设推进工作协调机制的作用，加强各级管理部门协同和区域联动。部分重点城市作为信息网络产业创新高地、其他经济活跃地区作为核心拓展区、特色资源地区作为特色应用示范区，系统规划信息网络产业园区布局和扩区建设，形成全国“一盘棋”的发展格局。②支持关键技术研发和重大专项落地。依托国家自主创新示范区，重点建设产业园区、科技创新平台、重大产业项目等载体，在5G-A、6G、智算中心、低空智联网等方向部署一批科技创新专项。支持主要基础电信企业以及行业内企业充分发挥平台和人才资源优势，牵头建设一批示范应用项目，促进迭代升级面向各行各业赋能增效。

（二）提供积极的财税政策支持，促进产业集群规模化发展

支持下一代信息网络产业发展与社会资本深入对接，助力产业链的延链、补链、强链。①提高下一代信息网络基础设施建设资源保障力度。拓宽产业投融资渠道，发挥政府投资基金的引导作用，鼓励社会资本参与新型信息网络基础设施建设。采取多元化资金投入、多元化主体参与的投资建设运营模式，鼓励采用银团贷款、投贷联动等方式，加大对下一代信息网络基础设施建设的信贷支持力度，为新型基础设施建设提供充足的资源保障。②合理加强产业垂直整合力度，引导上市公司投资下一代信息网络行业及上下游产业链，构建龙头企业生态链并发挥产业链协同效应，加速培育千亿元级产业集群。鼓励各类金融机构对有发展前景、有还贷能力的中小企业提供信贷、担保、租赁服务，推动企业上市挂牌、并购重组，支持企业利用主板、中小板、创业板等资本市场上市融资发展。对于下一代卫星应用领域，可引导资源要素从当前过度集中于上游制造环节，逐步向中下游的数据处理、终端应用优化配置，提升中下游企业的市场准入能力与产业占比，增强产业链的整体活力与韧性。

（三）建立公共服务平台，提供制度和安全保障能力

建立下一代信息技术与标准公共服务平台

台，提供前沿技术验证、产品测试认证、软件系统评价等服务。健全信息网络基础设施安全保障体系，涵盖网络安全、终端安全、应用场景安全、数据安全等层次。制定信息网络基础设施、工业互联网领域的数据安全保护制度和技术标准，支持开展网络安全等级测评、隐患排查工作，提升下一代信息网络及各类子系统的安全保障水平。率先完善行业标准体系，推动重点标准的实施和评估；支持国内机构和企业承办或参与国际标准化组织、国际电信联盟、国际电工委员会等组织的国际标准化工作，提高国际标准制定方面的话语权。鼓励龙头企业牵头组建产业联盟，推动下一代信息网络研制与行业应用在技术标准、数据接口等方面的贯通协同，构建协同开放、功能互补的商业化创新生态体系，全面提升产业整体创新能力与服务效能。

（四）提升国际交流层次，务实开展国际合作

加强沿海自贸片区、跨境电子商务试验区与周边国家的交流合作，联合推出下一代信息网络相关产品、服务、技术方案，积极向“一带一路”共建国家推广。创新国际信息科技合作机制，倡议成立信息网络领域多边合作组织或联盟，支持高校、科研院所与国际顶尖机构建立联合实验室；在东南亚、欧洲等地区设立创新中心，建立海外研发网络，拓展区域经济合作空间。利用与周边国家交往合作平台，建设下一代信息网络技术领域“丝路投资”“丝路贸易”品牌；支持国内信息通信企业通过“两国双园”、金砖创新基地建设等模式，开拓周边国家市场并进行务实合作，提升我国信息网络产业的国际影响力。统筹对接下一代信息网络建设需求，支持“通感算”、数字化应用领域的国际人才交流合作，完善下一代信息网络行业和数字化应用的职业技能等级认定，鼓励校企交流，定向培育专业人才，为产业发展提供充足的智力支持。

利益冲突声明

本文作者在此声明不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: July 9, 2025; **Revised date:** November 9, 2025

Corresponding author: Chen Zuoning is a member of Chinese Academy of Engineering. Her major research fields include architecture and system software. E-mail: chenzuoning@vip.163.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on the Application and Development Strategy of the Next-Generation Communication Network in Fujian Province” (2024-DFZD-06),

“Research on the Development Strategy of Photoelectric Industry Cluster in Fujian Province” (2023-FJ-ZD-4), “Research on the National Hub Node Construction and Intelligent Computing Multi-scenario Development Strategy of Inner Mongolia National Integrated Computing Network” (2025-NM-ZD-01), “Research on the Development Strategy of Digital Economy in the Fifteenth Five-Year Plan Period” (2025-XZ-18)

参考文献

- [1] Dangi R, Lalwani P, Choudhary G, et al. Study and investigation on 5G technology: A systematic review [J]. *Sensors*, 2021, 22(1): 26.
- [2] Alahi M E E, Sukkuea A, Tina F W, et al. Integration of IoT-enabled technologies and artificial intelligence (AI) for smart city scenario: Recent advancements and future trends [J]. *Sensors*, 2023, 23(11): 5206.
- [3] Shi Y C, Zhang Y, Wan Y T, et al. Silicon photonics for high-capacity data communications [J]. *Photonics Research*, 2022, 10(9): 106.
- [4] Banafaa M, Shayea I, Din J, et al. 6G mobile communication technology: Requirements, targets, applications, challenges, advantages, and opportunities [J]. *Alexandria Engineering Journal*, 2023, 64: 245–274.
- [5] Huang Y, Shen Y C, Wang J Y. From terahertz imaging to terahertz wireless communications [J]. *Engineering*, 2023, 22: 106–124.
- [6] 王鹏, 陈升, 王子豪. “十五五”时期的数字政府建设: 挑战及应对 [J]. *改革*, 2025 (6): 138–147.
Wang P, Chen S, Wang Z H. The construction of digital government for the 15th Five-Year Plan period: Challenge and solution [J]. *Reform*, 2025 (6): 138–147.
- [7] 吴子君, 张海君, 马旭, 等. 6G通感算一体化体系架构与关键技术 [J]. *电子与信息学报*, 2025, 47(4): 876–887.
Wu Z J, Zhang H J, Ma X, et al. System architecture and key technologies of 6G integrated sensing, communication, and computing [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2025, 47(4): 876–887.
- [8] 于克衍, 常鹤, 赵鑫. 数字孪生网络在 5G 网络中的应用场景研究 [J]. *数字通信世界*, 2025 (2): 12–14.
Yu K Y, Chang H, Zhao X. Research on the application scenarios of digital twin networks in 5G communication networks [J]. *Digital Communication World*, 2025 (2): 12–14.
- [9] 智能体通信网络(CAN)白皮书(2024 年) [EB/OL]. (2024-07-01)[2025-11-15]. https://reportify-1252068037.cos.ap-beijing.myqcloud.com/media/production/s_36c9da75_36c9da759b0f9f8a6c2eeb062f922325.pdf.
AI-agent communication network white paper (2024) [EB/OL]. (2024-07-01)[2025-11-15]. https://reportify-1252068037.cos.ap-beijing.myqcloud.com/media/production/s_36c9da75_36c9da759b0f9f8a6c2eeb062f922325.pdf.
- [10] 李立雪, 周鸣爱, 庞林源, 等. 福建省信息通信网络数字化转型发展现状、问题与对策探究 [J]. *学会*, 2025 (3): 26–31.
Li L X, Zhou M A, Pang L Y, et al. Research on the present situation, problems and countermeasures of digital transformation of information and communication network in Fujian Province [J]. *Xuehui*, 2025 (3): 26–31.
- [11] 赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据 [J]. *管理世界*, 2020, 36(10): 65–76.
Zhao T, Zhang Z, Liang S K. Digital economy, entrepreneurship, and high-quality economic development: Empirical evidence from urban China [J]. *Management World*, 2020, 36(10): 65–76.
- [12] 施炳展, 张瑞恩. 信息网络地位与产业结构升级 [J]. *东北师大学报(哲学社会科学版)*, 2024 (3): 55–69.
Shi B Z, Zhang R E. Status of information network and upgrading of industrial structure [J]. *Journal of Northeast Normal University (Philosophy and Social Science Edition)*, 2024 (3): 55–69.
- [13] 张杰, 付奎. 信息网络基础设施建设能驱动城市创新水平提升吗?——基于“宽带中国”战略试点的准自然试验 [J]. *产业经济研究*, 2021 (5): 1–14, 127.
Zhang J, Fu K. Can the construction of information network infrastructure drive the level of urban innovation? A quasi-natural experiment of “broadband China” pilot policy [J]. *Industrial Economics Research*, 2021 (5): 1–14, 127.
- [14] 中国信息通信研究院. 全球数字经济发展研究报告(2024 年) [EB/OL]. (2025-01-01)[2025-11-15]. https://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bs/202501/t20250116_651709.htm.
China Academy of Information and Communications Technology. White paper on global digital economy (2024) [EB/OL]. (2025-01-01)[2025-11-15]. https://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bs/202501/t20250116_651709.htm.
- [15] 中国信息通信研究院. 中国数字经济发展研究报告(2024 年) [EB/OL]. (2024-08-01)[2025-11-15]. http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bs/202408/t20240827_491581.htm.
China Academy of Information and Communications Technology. White paper on China’s digital economy [EB/OL]. (2024-08-01)[2025-11-15]. http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bs/202408/t20240827_491581.htm.
- [16] 罗欣伟, 赵天翊, 雷家骥. 新一代信息技术产业创新能力研究 [J]. *中国电子科学研究院学报*, 2021, 16(5): 459–467.
Luo X W, Zhao T Y, Lei J S. Research on innovation ability of new generation information technology industry [J]. *Journal of China Academy of Electronics and Information Technology*, 2021, 16(5): 459–467.
- [17] 官淑琪, 田怡诗. 武汉市下一代信息网络产业竞争力分析及提升策略——基于产业集群视角 [J]. *中阿科技论坛(中英文)*, 2023 (7): 86–90.
Guan S Q, Tian Y S. Study on analysis and improvement strategy of the competitiveness of next-generation information network industry in Wuhan City—Based on the perspective of industrial clusters [J]. *China–Arab States Science and Technology Forum*, 2023 (7): 86–90.
- [18] 工业战略性新兴产业分类目录(2023) [EB/OL]. (2024-01-04)[2025-11-15]. <https://tjj.sh.gov.cn/gjzb/20240104/2fee91d89586425cb0f3069bd5e93a17.html>.
Industrial strategic emerging industries classification catalogue (2023) [EB/OL]. (2024-01-04)[2025-11-15]. <https://tjj.sh.gov.cn/gjzb/20240104/2fee91d89586425cb0f3069bd5e93a17.html>.
- [19] The National Telecommunications and Information Administration. National spectrum strategy [EB/OL]. (2023-11-14)[2025-11-15]. https://www.ntia.gov/sites/default/files/publications/national_spectrum_strategy_final.pdf.

- [20] European Commission. 2030 digital compass: The European way for the digital decade [EB/OL]. (2021-03-09)[2025-11-15]. <https://www.europeansources.info/record/2030-digital-compass-the-european-way-for-the-digital-decade/>.
- [21] Ministry of Internal Affairs and Communications, Japan. Beyond 5G promotion strategy [EB/OL]. (2020-06-27)[2025-11-15]. https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/eng/presentation/pdf/Beyond_5G_Promotion_Strategy.pdf.
- [22] MSIT launches the K-Network 2030 strategy [EB/OL]. (2023-02-20)[2025-11-15]. <https://www.msit.go.kr/eng/bbs/view.do?sCode=eng&mId=4&mPid=2&bbsSeqNo=42&nttSeqNo=783>.
- [23] Ericsson mobility report: Explore the latest trends, forecasts and analysis from across the telecom industry [EB/OL]. [2025-11-15]. <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/reports/november-2024>.
- [24] Siddiqui A. Just how widely adopted is IPv6 in Australia? [EB/OL]. (2024-10-17)[2025-11-15]. <https://pulse.internetsociety.org/blog/just-how-widely-adopted-is-ipv6-in-australia>.
- [25] 李伯虎, 柴旭东, 刘阳, 等. 智慧物联网系统发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(4): 1-11.
Li B H, Chai X D, Liu Y, et al. Development strategy of smart Internet of things system [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(4): 1-11.
- [26] Global cellular IoT connections surpassed 4 billion in 2024, driven by 5G and LTE Cat 1 bis [EB/OL]. (2024-11-16)[2025-11-15]. <https://iot-analytics.com/global-cellular-iot-connections>.
- [27] World Economic Forum. Space: The \$1.8 trillion opportunity for global economic growth [EB/OL]. (2024-04-08)[2025-11-15]. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Space_2024.pdf.
- [28] Federal Communications Commission. SpaceX Starlink NGSO authorization order [EB/OL]. (2023-09-22)[2025-11-15]. <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-23-73A1.pdf>.
- [29] Regulation (EU) 2023/588 of the European parliament and of the council of 15 March 2023 establishing the union secure connectivity programme for the period 2023—2027 [EB/OL]. (2023-03-15)[2025-11-15]. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/588/oj/eng>.
- [30] Cabinet Office of Japan. Strategic headquarters for space development approves basic plan on space policy [EB/OL]. (2023-06-13)[2025-06-13]. https://japan.kantei.go.jp/101_kishida/actions/202306/13space.html.
- [31] Korea AeroSpace Administration. KASA's policy directions for Korea [EB/OL]. (2024-11-05)[2025-11-15]. https://www.kasa.go.kr/eng/sub02_02.do.
- [32] Euroconsult. Prospects for the small satellite market [EB/OL]. (2023-07-10)[2025-06-13]. <https://satsearch.co/products/euroconsult-small-satellite-market-intelligence-report>.
- [33] 2024 年通信业统计公报 [EB/OL]. (2025-01-26)[2025-11-15]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/yxj/xxfb/art/2025/art_1ba37f13e02149d4b1cdfc41c78cc68.html.
Statistical bulletin of communication industry in 2024 [EB/OL]. (2025-01-26)[2025-11-15]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/yxj/xxfb/art/2025/art_1ba37f13e02149d4b1cdfc41c78cc68.html.
- [34] 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. Six-generation mobile communication: Development trend and outlook [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(6): 1-8.
- [35] 2025 年前 5 个月通信业经济运行情况 [EB/OL]. (2025-06-25)[2025-11-15]. https://wap.miit.gov.cn/gxsj/tjfx/txy/art/2025/art_4c9b125cb0654088ab5b3fe9992f2b5d.html.
Economic operation of communication industry in the first five months of 2025 [EB/OL]. (2025-06-25)[2025-11-15]. https://wap.miit.gov.cn/gxsj/tjfx/txy/art/2025/art_4c9b125cb0654088ab5b3fe9992f2b5d.html.
- [36] 《2025 中国卫星导航与位置服务产业发展白皮书》发布 [EB/OL]. (2025-05-21)[2025-11-15]. <https://www.spacechina.com/n25/n2014789/n2014804/c4341721/content.html>.
The white paper on the development of satellite navigation and location service industry in China in 2025 is released [EB/OL]. (2025-05-21)[2025-11-15]. <https://www.spacechina.com/n25/n2014789/n2014804/c4341721/content.html>.
- [37] 2024 年中国卫星应用十大事件 [J]. 卫星应用, 2025 (2): 15-16.
Top ten events of satellite applications in China in 2024 [J]. Satellite Application, 2025 (2): 15-16.
- [38] 曲向芳, 刘维德, 张曼倩, 等. 2024 年中国卫星应用若干重大进展 [J]. 卫星应用, 2025 (2): 6-14.
Qu X F, Liu W D, Zhang M Q, et al. Some significant progress in satellite applications in China in 2024 [J]. Satellite Application, 2025 (2): 6-14.
- [39] 中国综合算力指数(2024 年) [EB/OL]. (2025-01-15)[2025-11-15]. <https://www.odcc.org.cn/news/p-1879463193510518785.html>.
China comprehensive computing power index (2024) [EB/OL]. (2025-01-15)[2025-11-15]. <https://www.odcc.org.cn/news/p-1879463193510518785.html>.
- [40] 王永真, 唐豪, 魏一鸣, 等. 中国数据中心综合能耗及其灵活性预测 [J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2025, 27(2): 12-18.
Wang Y Z, Tang H, Wei Y M, et al. Comprehensive energy consumption and flexibility forecast of data centers in China [J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2025, 27(2): 12-18.
- [41] 龚惠群, 黄超. 物联网新兴产业的发展趋势分析 [J]. 产业经济评论, 2023 (2): 198-216.
Gong H Q, Huang C. Analysis on the development trend of emerging industries of Internet of things [J]. Review of Industrial Economics, 2023 (2): 198-216.
- [42] 刘奇旭, 靳泽, 陈灿华, 等. 物联网访问控制安全性综述 [J]. 计算机研究与发展, 2022, 59(10): 2190-2211.
Liu Q X, Jin Z, Chen C H, et al. Survey on Internet of things access control security [J]. Journal of Computer Research and Development, 2022, 59(10): 2190-2211.
- [43] 《2024 中国测绘地理信息科技创新与产业发展研究报告》解读 [EB/OL]. (2024-12-13)[2025-11-15]. <https://www.csgpc.org/detail/24389.html>.
Interpretation of 2024 China surveying and mapping geographic information technology innovation and industrial development research report [EB/OL]. (2024-12-13)[2025-11-15]. <https://www.csgpc.org/detail/24389.html>.