

主要发达国家和地区技术趋势预测及启示

史冬梅^{*} 褚旭龙 王 晶

(科学技术部高技术研究发展中心, 北京 100044)

摘 要: 技术预测是对科技发展的未来目标、可能途径及资源条件作出的预先推测或测定, 是制定国家科技政策的重要方法, 受到主要发达国家和地区的高度重视。近两年, 美国国家情报委员会、北约科技组织、欧洲议会未来科学与技术委员会等组织和机构, 面向 2040 年, 纷纷开展未来 20 年科技发展趋势预测, 并分析科技对经济、社会 and 军事领域的重大影响, 发布了重要报告。本文针对部分报告的要点, 重点梳理人工智能、新材料和制造、生物技术、太空技术、自主技术、大数据技术、先进武器技术和量子技术等 8 个前沿科技领域未来重点研究方向和应用发展趋势, 分析面向 2040 年技术发展趋势和对经济、社会、军事的影响, 提出了对我国制定未来前沿科技领域发展战略的启示。

关键词: 科技趋势; 技术预测; 前沿科技; 军民应用

DOI: 10. 16507/j. issn. 1006 – 6055. 2022. 09. 002

Prediction and Enlightenment of Technology Trends in Major Developed Countries and Regions

SHI Dongmei^{*} CHU Xulong WANG Jing

(High Technology Research and Development Center, Ministry of Science and Technology, Beijing 100044, China)

Abstract: As an essential method for formulating national science and technology policies, technology prediction refers to the prediction or determination of future goals, possible ways, and resource conditions of scientific and technological development, which major developed countries have highly valued. In recent years, the National Intelligence Council of the United States, NATO, Future Science and Technology Committee of the European Parliament, and other organizations and institutions, aiming at 2040, have carried out prediction research on the future development trend of science and technology and its significant impact on the economic, social and military fields, and issued relevant reports. Aiming at the key points of relevant reports, this paper focuses on combing the future development trends of eight cutting-edge scientific and technological fields, such as artificial intelligence, new materials and manufacturing, biotechnology, space technology, independent technology, big data technology, advanced weapon technology, and quantum technology, analyzes the technological development trend and its impact on the economy, society, and economy in 2040, and puts forward enlightenment for the future development of China's scientific and technological field.

Keywords: Science and Technology Trend; Technology Forecast; Cutting Edge of Science and Technology; Military and Civilian Applications

展望 2040 年, 全球科技创新方式和技术格局 将发生重大变革, 科技发展将在社会生产生活的

^{*} E-mail: shidm@htrdc.com

方方面面产生深刻的影响^[1]。近年来,美国、北约、欧盟等国家和国际组织纷纷开展对高新技术领域未来发展趋势的预测,并研究其在经济、社会 and 军事领域所带来的重大影响,发布了重要报告。本文重点分析的三份报告包括美国国家情报委员会(National Intelligence Council, NIC)发布的《全球趋势 2040——竞争更激烈的世界》^[2]、北约科技组织(NATO Science & Technology Organization, STO)发布的《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》^[3]及欧洲议会未来科学与技术委员会(European Parliament Research Service, EPRS)委托兰德公司发布的《塑造 2040 年战场的创新科技》^[4](表 1)。

表 1 三份技术预测报告的信息简表

Tab.1 Information Statistics of Three Technical Forecast Reports

发布年份	发布机构	报告名称	技术要点
2021	NIC	全球趋势 2040——竞争更激烈的世界	预测了人工智能、先进材料和制造、生物技术、太空技术以及超级互联等 5 大主要科技领域的创新发展趋势
2020	NATO STO	科技趋势 2020—2040——探索科技前沿	分析评估了未来 20 年大数据、人工智能、自主技术、空间技术、高超音速、量子技术、生物技术、材料制造等 8 个领域新兴颠覆性技术的发展趋势
2021	兰德公司(受 EPRS 委托)	塑造 2040 年战场的创新科技	提出了 11 项技术群,包括:人工智能/机器学习/大数据、先进机器人和自主系统、生物技术、先进武器技术、太空技术、人机界面、先进能源和电力、先进材料及制造技术、先进计算、数据存储和通信技术、先进传感器和雷达

2019 年我国启动了第六次国家技术预测工作,制定 2021—2035 年国家中长期科技发展规划,研判科技发展态势并预测未来影响经济社会发展的关键技术^[5]。美国、北约及欧盟等国家和国

际组织近两年发布的技术预测研究报告对我国技术趋势研究研判具有参考意义。本文重点梳理归纳以上三份研究报告的主要内容,分析技术发展趋势及重大影响,总结未来军民两用前沿科技领域和技术发展方向,提出对我国前沿科技领域发展的启示。

1 发达国家及区域组织近两年对科技趋势的预测

1.1 《全球趋势 2040——竞争更激烈的世界》

NIC 以 4 年为周期发布全球趋势预测报告。本文分析对象为其于 2021 年 3 月发布的《全球趋势 2040——竞争更激烈的世界》。该报告重点分析预测全球范围内,未来 20 年的科技发展前沿态势。报告预测了人工智能、先进材料和制造、生物技术、太空技术以及超级互联等 5 大主要科技领域的创新发展趋势及其对经济、社会、政治、军事等方面产生的影响,旨在为美国政府人员的科技发展战略决策提供情报支撑服务。报告指出,科技领域的交叉融合和国际日益激烈的科技抢夺等发展趋势,将加速前沿技术的出现,影响未来全球社会、经济。

1.2 《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》

2020 年 3 月,NATO STO 组织发布《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》报告,着眼未来 20 年军事技术发展趋势,对北约 2019 年 12 月在伦敦会议上提出的新兴和颠覆性技术予以分析评估。报告分析评估了未来 20 年在大数据、人工智能、自主技术、空间技术、高超音速、量子技术、生物技术、材料制造等 8 个领域新兴颠覆性技术的发展趋势及其对未来发展的潜在影响,提出了未来 20 年军事领域新兴颠覆性技术将具有智能化、互联化、分布式、数字化四个主要特征,或催生精

确战、自主程序与系统、战场网络、作战域拓展等军事应用,希望借此提升北约决策者对科技发展影响军事能力的理解。

1.3 《塑造 2040 年战场的创新科技》

2021 年 8 月, EPRS 委托兰德公司发布《塑造 2040 年战场的创新科技》报告,采用结构化的综合研究方法,选取了 11 项能够在 2040 年前后对未来战争具有颠覆性影响的技术群,从未来趋势、机遇与挑战、应用优劣势等方面进行研究。

报告提出的 11 项技术群如表 1 所示。一方面分析了在 2040 年的时间框架内,某一特定技术群在战场环境中被广泛使用和采用的程度;另一方面分析了对战场的预期影响程度,即考虑相关技术带来的机遇和挑战,以及技术群对 2040 年战场的影响程度。

2 面向 2040 年科技发展趋势及重大影响

2.1 科技是未来赢得国家竞争优势的关键途径

《全球趋势 2040——竞争更激烈的世界》提出了未来 20 年科技影响力将进一步加强观点,主要包括:科技将增强人类应对老龄化、气候恶化和低生产率增长等挑战的能力,并作为获得竞争优势的关键途径影响社会、产业和国家的发展;未来能够利用科技提高生产率的国家将拥有更多的经济发展机会,尤其是人工智能技术优势国家将会取得显著的竞争优势;人工智能技术能够以领域交叉融合发展的方式推动包括医疗、工业、农业交通、教育等多个领域的快速发展;空间新兴技术将帮助推动空间商业化,拓展新的应用领域,并展现出激烈的竞争态势。

《塑造 2040 年战场的创新科技》提出,科技是世界指数级变化的关键驱动因素,将会导致社会

的“游戏规则改变”。包括物联网、先进制造、机器人和人工智能在内的先进技术,为欧洲的经济增长和应对国际治理挑战提供了巨大机遇。

2.2 未来科技进步将改变军事作战形态

通过总结北约《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》关于未来军事作战发展趋势观点可见,人工智能等高新技术领域与现有军事技术相结合,将产生颠覆性影响,衍生出新的军事技术,催生新的作战能力。新技术的发展使未来军事技术呈现出智能化、互联化、分布式和数字化趋势。

未来新技术将为军队提供更好的人机交互界面,提高国防决策效率。《塑造 2040 年战场的创新科技》认为,这些新技术也为未来战场管理提出了许多挑战,特别是信息通信网络日益发展导致的信息安全风险。人工智能、机器学习和大数据在军事领域的应用将提高武器系统的作战效能和指挥决策速度;新材料与制造技术使武器系统更轻、强度和能量效率更高,并支持自主武器系统现场定制;生物技术提高作战人员在高危高压环境下的战斗能力;自主技术可实现基于群体智能的蜂群作战能力;太空技术支持作战效能的近实时评估并提高目标打击成功率。

2.3 不同技术交叉融合成为主要趋势

《全球趋势 2040——竞争更激烈的世界》提出,不同科技领域的交叉融合将推动未来科技快速发展。到 2040 年,人工智能、高速通信和生物技术等技术的融合将得到加强,其效能远远超过各单独技术领域的总和。

《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》将 8 个技术领域间融合形成 6 种相互协同技术组,包括数据—人工智能—自主技术、数据—量子技术、太空—高超声速武器—材料、太空—量子

技术、数据 – 人工智能 – 生物技术、数据 – 人工智能 – 材料,并阐述了不同技术领域的交叉融合对未来军事能力产生的颠覆性影响。

2.4 推动未来科技进步的主要力量和关键因素

《全球趋势 2040——竞争更激烈的世界》报告的主要观点是,争夺技术主导权的竞争日益激烈,将受到更广泛的政治、经济和社会竞争影响。技术资源的成功集聚者很可能成为 2040 年的技术领导者。国家主导型企业逐渐在开放性、创造性、竞争性以及驱动性等发展环境方面展现出劣势,而一些跨国合作企业的相关衍生技术和应用成果将会展现出强大的优势。

《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》认为,推动未来技术进步的全球主要战略性力量和关键驱动因素包括创新投资、大国竞争、国防和安全、气候变化和环境、资源和能源等可持续发展以及文化和法律等人文方面。

3 未来军民两用的前沿科技领域

在对未来科技进步和技术趋势预测中,三份报告对一些新兴和颠覆性技术领域做出了趋同的研判和分析(表 2)。人工智能、新材料和制造、生物技术、太空技术、大数据与高级分析、自主技术、高超声速、量子技术等 8 个前沿科技领域被认为是未来军民两用的重点技术领域。本文重点介绍上述 8 个技术领域的未来发展趋势及对经济社会和军事领域的影响。

3.1 人工智能

人工智能将在广泛的活动中与人类合作或取代人类。其发展和应用将改变人类的工作、交流、思考和决策方式,从而改变全球经济、安全、通信和运输等多个方面^[6]。在提升人类生活和经济竞争力方面的巨大潜力将有助于解决当前社会面临的紧迫挑战,但同时也会带来新的技术和伦理

表 2 三份技术预测报告的前沿科技领域的对比

Tab.2 Comparison of Advanced Technology of Three Technical Forecast Reports

技术领域	重点技术方向		
	北约报告	欧盟报告	美国报告
人工智能	高级算法应用、人工智能应用、人机接口	数据访问和管理、决策支持战场对抗、情报分析	高质量数据管理、高级算法、高速通信链路
大数据	大数据高级分析、大数据通信决策支持分析、大数据传感		
新材料和制造	新材料、增材制造、储能	纳米材料、石墨烯和先进复合材料增材制造	增材制造、工业物联网、二维材料、超级材料和可编程物质、定制化
生物与人体增强	生物信息学、人体增强医疗对策、合成生物学	基因编辑、药物、仿真机器人生物传感器基因改造	数字健康/个性化医疗、生物打印和异种移植、生殖工程、生物制造、合成生物、基于 DNA 的数据存储、转基因生物
太空技术	平台、操作系统、传感	太空发射、态势感知、通信卫星和地基通信、太空对抗	国家空间系统和国际项目、大型卫星星座运行和空间态势感知、空地超级互联系统
自主技术	自主系统人机合作、自主行为对抗措施	先进机器人(无人飞行器、外骨骼等)、自主系统	-
高超声速(武器系统)	平台、推进器、对抗措施	定向能武器、声波武器、高超声速武器、电子战武器	-
量子技术	量子通信、量子计算、量子定位、量子传感	量子计算、量子传感、量子通信、量子加密、量子钟	-

风险。

到 2040 年,人工智能通过与其他技术相结合,将使人类生活的诸多方面受益。《全球趋势 2040——竞争更激烈的世界》提出,人工智能的应用将改善医疗保健、支持更安全有效的交通、提高农作物产量,提高国家防御系统性能。同时,旨在影响或混淆人工智能决策的反人工智能技术也可能出现。大数据在为人工智能的发展提供数据支撑的同时,在数据的安全访问、隐私保护、控制权等方面也将产生多方竞争和冲突日益加剧的问题。人工智能代替人类决策的应用将继续引起伦理关注^[7]。

《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》分析了人工智能发展的重要技术方向和核心部件,提出人工智能研究往往依赖于兼容性强的开源工具和大量的数据信息,强调驱动人工智能发展的重要因素为商业应用需求。人工智能的发展存在几大技术挑战:一是大部分现有人工智能应用都比较脆弱;二是需要提升人工智能的可解释性;三是难以在未来 20 年实现通用人工智能发展阶段。主要的技术发展方向包括高级算法、人工智能应用、人机接口等;未来军事应用包括指挥信息系统、武器和效果、无人作战装备、作战任务规划、核生化放以及军事模拟训练等,可显著提升北约的情报分析、决策支持、无人群组智能作战、日常军事实战化训练等方面的军事能力。

《塑造 2040 年战场的创新科技》的主要观点则认为,人工智能、机器学习和大数据可以在情报获取、决策支持、指挥控制和后勤保障领域发挥重要作用。人工智能和机器学习技术可发挥数据访问和管理方面的优势,破坏作战对手的观察、判断、决策和行动的决策环;亦可集成于遥感卫星、精确制导导弹和高超声速武器等武器系统,大大

提高武器作战效能、杀伤力和自主决策能力。同时,人工智能和机器学习技术还可应用于网络对抗,自主化编程生成恶意代码增加攻防对手追踪溯源的难度性,亦或是生成“深度伪造”的图像、视频和社交媒体“机器人”,增加敌方信息辨别真伪的难度。

总体而言,人工智能是新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力量,具备改变经济、社会和军事的能力。重点技术方向包括高级算法研究、人机共生接口研究以及与量子技术、自主技术、新材料与先进制造技术的融合创新发展等。应用角度包括医疗、交通、农业、公共管理以及军事等方面。其中北约和欧盟报告重点从军事领域应用角度进行了预测,覆盖情报分析、辅助决策、指挥控制和后勤保障以及日常军事训练等各阶段。

3.2 新材料和制造

新材料和制造业的发展将对全球经济、社会及军事产生深远影响^[8]。这是因为新材料将会在许多领域显著改善产品性能。增材制造在生成效率和成本控制等方面具有巨大的发展潜力^[9],其与人工智能、大数据以及新材料等技术的融合将推动实现工业 4.0,实现更高效和智能化的个性化定制和可持续制造^[10]。

先进材料源于其在轻度、柔韧性、导电性等方面的特性优势,重点研究方向包括二维材料、超材料和可编程物质等,未来将实现多元化应用;其重点研究领域为增材制造技术(3D 打印),具备快速制作、按需定制、复杂形状制造等优点,未来通过相关技术突破和可靠性提升,将推动现代制造业革命,以上为《全球趋势 2040——竞争更激烈的世界》的主要观点。同时,报告指出,未来先进材料和制造领域,将更多地体现出多技术领域结合驱动发展的特点。高性能计算、材料建模、人工智

能和生物材料等领域的融合将加速材料和制造业的创新发展,包括按需定制的高性能新材料和完全集成的协同制造系统研究,将实现现有材料无法获得的新性能以及快速响应的智能化生产线。

《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》将新材料和增材制造等领域定位于颠覆性影响因素。纳米技术或合成生物学技术的发展将支撑先进材料的制备,主要包括极端耐热性涂料、高强度车身或平台装甲、隐身涂料、超导性传感器和建筑材料等。增材制造将促进产品开发、减少库存备件、降低成本、优化产品设计以及按需定制,重点研究方向包括石墨烯和二维材料、纳米级生物制造技术、3D/4D 增材制造技术。其中,石墨烯和其他 2D 材料将带来的优势主要包括:减少设备负担(用轻型材料和设备取代笨重部件),这对远程作战特别重要,对飞机系统也至关重要;为隐蔽的可穿戴设备编织织物类整体轻质柔性电子产品;更快的电子通信(更大的带宽)和更强大的计算能力;改进(微弱)信号的检测,(射频/微波或光学)扩展操作平台的物理范围(用于通信、测距或热成像/热寻道);防生化攻击,以及为爆炸性蒸汽的检测提供更高的灵敏度及选择性,用于新型装甲和士兵系统的轻型高抗冲击材料(比现有材料轻得多)。

《塑造 2040 年战场的创新科技》提出的新材料和制造领域重点技术方向包括纳米材料、石墨烯、复合材料以及增材制造。这里的新材料是指具有独特功能或在强度重量比、热稳定性或抗腐蚀性等方面优于传统材料的材料。纳米材料(纳米武器)、石墨烯(碳纳米管)和先进复合材料(金属基、陶瓷基和聚合物基复合材料)值得高度关注。纳米材料可能会作为生化武器的载体,这样会扩大攻击范围,增加检测和溯源的难度,降低生

化武器的使用门槛。

综上所述,新材料和制造技术能够通过材料性能和制造方式的优化,推动现代化产业革命。其中,新材料方面,通过提升耐热性、抗腐蚀性、轻量便捷性、通信能力、探测能力、抗核生化能力,能够有效提升未来作战装备在复杂作战环境下的作战能力。先进制造领域重点技术方向为增材制造,具备低成本、复杂模型定制化、批量生产等优势,与人工智能技术结合,具备在深空探测以及复杂战场环境下的自动定制生产应用前景。

3.3 生物技术

生物技术是指重新设计或改造生物体,使其能够实现特定功能的技术,将在生命健康、食品安全、生态环境以及社会经济等方面产生深刻影响。生物技术与信息技术、新材料和制造等先进技术的结合,将进一步衍生出人机接口、合成生物学以及生物存储与计算等新兴技术领域。生物技术、神经科学和计算等领域的进步带来了新型增强技术的潜力^[11]。

生物技术有望在未来 20 年影响全球经济的 20%,《全球趋势 2040——竞争更激烈的世界》提出的生物技术未来重点研究方向包括:数字健康/个性化医药,用于降低误诊率,改善医疗效果;定制化基因药物,用于实现更加快速、有效的医疗;生物打印和异种移植,提供器官器官移植和修复效率,减少排斥;生殖工程学,大幅度减少基因遗传疾病;人机界面,通过神经系统疾病新疗法,增强认知能力;生物工程,提高设计和制造新材料、药物的速度和可靠性;合成生物学,创造新分子、新材料和新疗法;农业和食品生产转型,实现低成本食品种类的增加,降低对环境的影响。

人体增强技术作为生物医学干预手段,可用于改善人体形态、恢复能力、健康防护能力。《科

技趋势 2020—2040——探索科技前沿》预测未来 20 年重点研究方向包括:生物信息技术和生物传感器,探索新型生物传感器、生物数据收集和分析方法;人效增强,利用基因改良、神经接口、药理制剂、机械装置提高人类生理效能和认知能力,通过更强的计算和建模能力来理解复杂社交网络中的信息流;医疗防护措施和技术,开发新型诊断及治疗方法,以支持预测性诊断、生化放威胁识别、伤员护理;合成生物学,设计和创造合成的生物成分或系统,包括用于监视多种细胞的生物传感器系统。

合成生物学技术作为未来重要的技术发展方向,可利用基因编辑、药物和生物技术进行战伤救治,也可以用于士兵体能或认知能力增强。《塑造 2040 年战场的创新科技》报告提出,将生物技术与机器人、自主系统、传感器和电子技术结合将衍生诸多发展方向,包括模仿生物系统开发的仿生机器人、创造新型生物的基因改造技术。军事应用生物技术可以分为侵入式(如药物)和非侵入式(如外骨骼)两种类型,通过提高人体警觉性、学习能力、认知能力、消化能力来提高士兵的运动和非运动能力。如莫达非尼(提高注意力的药物)可以提高士兵在高危高压环境下的态势感知和决策能力。此外,士兵还可以通过基因工程预先筛查潜在的风险和疾病,获得量身定制的药物,以便进行准确的治疗。

综上所述,三份报告均提出以增强人类能力为目标的人体增强技术为未来生物技术发展重点方向。以药物、检测设备以及新型治疗手段等方式提升人类的学习能力、认知能力、消化能力、信息传输能力等。此外,《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》《塑造 2040 年战场的创新科技》还提出生物技术与机器人、自主系统、传

感器和电子技术结合,研制新型生物传感器、仿生机器人、生物武器等,以提升军事作战能力。

3.4 太空技术

外层空间的激烈竞争使得各国政府更看重遏制和保护太空资产的能力。太空技术的提升将在航空、导航、交通、通信、环境监测以及军事用途等领域带来显而易见的好处^[12]。

未来太空技术研究需重点结合先进制造技术、增材制造技术、人工智能技术、通信技术开展,拓展在民用、商业、军用方面的创新应用。通过分析《全球趋势 2040——竞争更激烈的世界》可以梳理出 3 个重点研究方向:结合智能制造、增材制造等技术,开展在轨服务、装配和制造等太空技术发展,用以支持国家和国际空间系统建设;结合通信技术发展,提升空地间数据信息传输的实时性和海量性,为上层服务提供更准确、详细的数据信息;利用人工智能技术,驱动大型卫星星座运行、提升空间态势感知能力,并衍生出创新的空间服务。

《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》从应用发展趋势和重点研发方向 2 个层面进行了预测分析。应用发展趋势方面,提出太空技术有望大幅提升多层面的态势感知水平、支持作战效能的近实时评估并提高目标打击成功率。但随着对天基资产依赖性的增加,反卫星等系统带来的风险将加大;随着轨道越来越拥挤、太空碎片数量不断增加,天基系统的有效性和可靠性将受到威胁。重点研发方面,主要包括:微波光电,持续研究以提升太空系统性能并促进系统进一步微型化;小卫星,包括低能耗推进、卫星控制等方面研究;自主系统,扩大在轨自主能力,提高人工智能处理能力;无源相干定位雷达;天基量子;太赫兹传感器等。

《塑造 2040 年战场的创新科技》提出,太空技术已经成为网络中心战和精确打击战的关键。报告强调,未来马赛克战要求分散部署兵力,将会更加依赖天基指挥控制和情报监视侦察能力。未来太空技术重点研究方向主要包括太空发射技术、对地监视和太空态势感知技术、天基通信技术以及太空对抗技术等。临近空间技术也值得高度关注,高空伪卫星和在平流层用来进行对地观测的遥控飞机等已经成为网络中心战和精确打击战的关键。军事应用进入太空成本的降低可能进一步促进天基服务的应用,可用于防空反导,例如使用卫星跟踪和拦截弹道导弹来探测大规模杀伤性武器的试验或使用情况。

综上所述,未来太空技术与人工智能、先进制造等技术领域的融合,会显著提升空间应用的各项水平,包括支持在轨服务、装配和制造活动,大幅提升多层面的态势感知水平。其中,军事方面重点应用在于空间态势感知,以小型化、集群化的发展趋势提升情报监视侦查、态势判断分析、辅助指挥决策、目标持续跟踪、目标判断识别、目标精确打击、导弹预警防御等能力,支撑未来军事全域作战能力,包括支撑马赛克等新型作战方式等。

3.5 大数据技术

随着物联网和智能产品的开发和应用,世界数据总量呈现爆炸式增长,并将在未来进一步扩大规模。大数据技术的发展将提供更快、更准确的分析和决策,并对安全局势产生实时的情境性理解,但同时也会引发新的问题和风险,如对数据的控制权、数据滥用及隐私泄露等。

大数据与高级分析是所有新兴和颠覆性技术的使能技术,对于增强军事能力十分重要。《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》重点强调大数据与高级分析技术跨越多个学科,其发展具备

强大的商业和开源基础。涉及的军事应用领域包括情报监视侦察、态势感知、训练和战备、后勤、作战保障、科技研发、信息管理。重点技术方向包括:工程防御,包括自动识别、破坏和调查网络机器人社交和网络攻击;优化通信,包括探索新的通信模式(如 5G)、网状网络、后量子加密方法和认知方法的扩大应用;分析,包括噪声和不确定数据融合、作战决策、复杂多尺度物理和信息系统建模仿真、新型分布式计算框架等;传感器,包括被动信号融合和评估、生物传感器、多用传感器、边缘计算;信任,包括网络代理、改进的可视化和预测分析、海量社交或网络行为体识别与标记工具、红队网络代理开发。

《塑造 2040 年战场的创新科技》提出了大数据技术的 3 个重点技术方向,分别是数据技术领域中的先进计算、先进数据存储和先进通信技术。先进计算技术包括量子计算和边缘 AI 计算等;先进数据存储技术包括高密度低能耗数据存储和全息数据存储等;先进通信技术包括 5G 和先进光纤技术等。未来战场先进军事能力的形成依赖大量的计算资源和高性能的计算解决方案。5G 等先进通信技术可能会对国防安全构成挑战。

综上所述,《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》和《塑造 2040 年战场的创新科技》均提出大数据技术作为使能技术,借由数据采集技术(传感器)、数据通信技术(5G 和先进光纤)的发展,未来能够结合具体军事应用开展定制化的数据挖掘与分析,为军事作战前期的情报、监视、侦查和态势感知提供更多有价值的数据分析结论,同时为人工智能赋能下的作战决策、作战指挥、作战评估等新形态应用提供通用技术支撑。

3.6 自主技术

自主技术能够承担单一重复式或危险性高的

任务,能够显著降低成本、减少人员配置、提高效率并减少人员伤害。《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》从未来军事应用和重点技术方向共 2 个层面进行了阐述,认为在军事应用方面,自主系统已在现实和虚拟环境中广泛使用,最终将以人机协同的方式实现更广泛的应用。未来 20 年,自主技术将显著影响以下军事领域:兵力结构、单兵效能、反制措施、无人蜂群、后勤、态势感知、杀伤力、机动能力、生存能力、持续性、城镇作战、网络。重点技术方向包括:系统,如下一代低可观测系统、新型推进器、太空与高超声速系统、低功耗廉价高敏感传感器、社交机器人、网络攻防、诱饵等;人机编组,包括改进的人机编组、优化的社会技术集成、新接口与控制设计;反制措施,包括定向能武器、电磁反制措施、诱饵、蜂群拦截等;自主行为,包括大规模蜂群、嵌入式人工智能、精确导航和数字控制。

《塑造 2040 年战场的创新科技》,自主系统可以提高反应速度、决策速度和跨陆海空域的移动速度,可以增强情报监视侦察能力和武器系统的延伸覆盖范围,并重点强调了先进机器人和自主系统能够适应各种不同任务和不同条件(例如气候和地形),具备广泛的军事应用前景,可以应用于空中、地面、水面和水下运载器,以及异构系统和自主蜂群。随着计算机视觉传感技术和雷达技术的发展,先进机器人和自主系统的推进、精确起降和导航能力都在不断进步,将在情报监视侦察方面发挥更大的作用。随着运载器互操作技术和人工智能赋能的远程控制技术的发展,一个操作员将可以控制多个运载器组成的编队。

综上所述,《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》和《塑造 2040 年战场的创新科技》均根据自主系统的无人化、协同化、智能化等特点

开展未来军事应用分析,并从不同的作战单元、作战形式、作战阶段等角度列举应用趋势。自主技术或自主系统作为在大数据、人工智能、先进制造(机器人)以及通信技术的支撑下开展的智能化作战单元/系统的综合集成,可在特殊战场环境下替代人员作战或填补以往不能实现的作战任务空缺,形成新形态联合协同作战编组,具备感知、判断、决策、行动的闭环作战能力,可极大提升军事作战能力。

3.7 高超声速

高超声速通常定义为高于 5 马赫或音速的 5 倍。高超声速飞行的技术进步催生全新的武器,高超声速巡航导弹(Hypersonic Cruise Missile, HCM)以及高超声速滑翔飞行器(Hypersonic Gliding Vehicle, HGV)。二者都可以在飞行过程中操纵,进而改变其目标和轨道。高超声速武器的发展有可能使现有的导弹防御系统失效,但制造这些武器仍然存在一些重大的技术挑战^[13]。

《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》对高超声速系统的分类、应用前景以及重点研究领域进行了分析总结。报告认为,通常讨论的高超声速系统有四种,高超声速滑翔飞行器、吸气式高超声速巡航导弹、高超声速轨道炮和高超声速载人飞机。其中,军事应用优先考虑高超声速滑翔飞行器和高超声速巡航导弹。高超声速武器具备战术警报/攻击评估系统反应时间少、制定对抗措施难及对高价值目标威胁大等优势,具有重要战略地位,能够提高对地面和海上重点目标的打击能力。美国高超声速巡航导弹预计在 2025 年前投入战场,高超声速滑翔飞行器在 2035 年前投入战场。近年来,随着材料、推进器、制导、控制等方面的发展,为解决高超声速有关的热、机动性、压力和能量挑战提供了新方法。未来重点技术方

向包括:平台,包括新耐热材料、新推进模式、微型化和减重、建模与仿真、新运载器具设计、超燃冲压发动机推进、隐身材料与设计、先进飞行控制等;防御性反制措施,包括传感器和跟踪、硬杀伤、软杀伤等。

高超声速武器主要包括高超声速滑翔弹(发射后沿大气高层滑翔,与弹道导弹原理类似)和高超声速巡航弹(利用先进的喷气发动机和/或火箭发动机来获得更高的速度),《塑造 2040 年战场的创新科技》强调,尽管高超声速滑翔弹并不比传统的洲际弹道导弹速度更快,但滑翔弹道使其具有更强的机动性,能够突破当前的导弹防御系统。随着超燃冲压发动机和耐高温材料的出现,高超声速武器的性能将不断提高,未来可能会接入自主系统或 AI 赋能的指挥控制网络。

综上所述,《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》《塑造 2040 年战场的创新科技》均提出高超声速武器是未来先进武器系统重点研究方向,具有重要军事发展战略地位。借由其在速度、精准度、杀伤力等方面的优势,未来与自主系统集成将进一步提升军事作战能力。

3.8 量子技术

量子现象是许多现代技术的基础,包括晶体管、核能、电子显微镜、超导、光电探测器、医学成像(功能性磁共振成像和正电子发射成像)、激光和固态器件。人们将之用于新兴技术开发,其中大多数技术还处于早期阶段,在实现应用前还面临重大挑战^[14]。例如,广泛可用的通用量子计算至少需要发展 15 ~ 20 年,之后实现商用预计还需要 5 ~ 10 年。

下一代量子技术可能对北约军事能力产生革命性影响。《科技趋势 2020—2040——探索科技前沿》重点从计算、传感、导航定位授时以及通信

与加密等方面提出了应用发展趋势以及重点技术方向。计算方面,量子计算机有望具备更加强大的计算能力,使加密和解密防范变得更加复杂,同时有助于新材料和生物技术的加快开发;传感方面,量子传感器将更加敏感,有助于开发隐身和反隐身雷达及更强大的磁、声和重力传感器;导航定位授时方面,量子效应有助于开发非常敏感的导航定位授时设备;通信与加密方面,不可破解的密码以及快速解密当前加密信息的能力,将挑战现有自动化指挥系统。

量子技术能够更准确、更快速、更省时地处理大量数据,从而提供先进的分析能力,《塑造 2040 年战场的创新科技》强调量子技术重点技术方向包括量子密钥分发、量子密码分析和量子传感。虽然通过量子密钥分发进行量子加密可以为“防御”提供优势,但量子密码分析可以通过“进攻”破解该优势。

综上所述,北约和欧盟均提出量子技术在计算、通信、安全保密等方向具备提升未来军事作战效能的应用前景,具备颠覆性影响作用。量子计算将超越经典计算机对于特定分析问题的理论极限值,但需要更长周期的科学研究;量子传感器将比现有系统敏感许多倍,且具备良好的抗干扰潜力;量子密钥加密提升信息保密防御优势,量子密码分析可以提升情报信息破解能力。

4 启示与建议

未来 20 年,全球科技创新和技术格局将发生重大变革,也是我国建成世界科技创新强国的关键时期,把握代表世界科技前沿、经济高质量发展和国防实力的高新技术领域的未来发展趋势,以及发达国家和地区在这些领域的重点研究方向,对我国制定未来前沿科技领域的发展战略具有参

考价值。

4.1 加强技术预测和识别研究

关注发达国家和地区技术预测结果及实施,在大国博弈背景下应对世界创新格局变化和国际科技竞争,关注美国、欧盟等发达国家与组织在未来前沿科技领域的重点发展方向,针对技术预测所提出的战略措施和相关政策,以及对世界经济、社会和军事发展产生的影响。加强我国对于未来前沿科技发展态势的预测和识别研究,完善国家技术预测机制,发挥科技领域国家高端智库在技术预测方面的作用,培养战略研究高端人才,结合先进的技术预测方法,准确预测和研判未来技术的发展前沿态势以及我国面临的发展机遇和挑战。交叉融合催生未来科技创新发展,不同技术领域相互促进,衍生出多元化创新和应用。准确把握不同技术交叉融合创新规律,加强人工智能和大数据、信息和通信技术、生物技术、新材料及制造技术、自主技术、太空技术等融合发展,及其在商业和国防领域颠覆性的应用研究,支撑我国未来经济社会高质量发展,提高国防竞争力和未来战场主动权。

4.2 关注前沿科技领域的重点研发方向

综合分析美国、北约、欧盟等国家与组织发布的 3 份报告,总结其在人工智能、新材料和制造、生物技术、太空技术、自主技术、大数据技术、先进武器技术和量子技术等 8 个前沿科技领域提出的未来重点研究方向。

在人工智能领域,重点技术方向包括高级算法研究、人机共生接口研究以及与量子技术、自主技术、新材料与先进制造技术的融合创新研究;在新材料和制造领域,重点技术方向涉及新材料的耐热性、抗腐蚀性、轻量便捷性、通信能力、探测能力等性能优化的研究和低成本、复杂模型定制化、

批量生产的增材制造技术研究;在生物技术领域,重点关注生物信息、生物传感、人效增强、生物医学和合成生物等技术的发展,以及由此带来的安全、伦理等社会问题;在太空领域,重视其与先进制造技术、人工智能技术、通信技术的交叉融合发展,重点技术方向为微型化太空系统、小卫星、无源相干定位雷达、天基量子、太赫兹传感器等;在自主技术领域,重点技术方向为自主系统集成应用、人机交互、智能感知、智能决策等;在大数据技术领域,重点技术方向为先进计算技术、数据存储和通信技术等;在高超声速武器领域,重点研究超燃冲压发动机、耐高温材料、隐身材料与设计、先进飞行控制等技术;在量子计算领域,重点技术方向为量子计算、量子通信、量子加密以及导航定位授时等。

参考文献

- [1] 徐占忱,程璐. 全球科技创新形势分析与展望 [C]. 国际经济分析与展望(2015~2016). 2016.
- [2] NIC. Global Trends 2040-A More Contested World [EB/OL]. (2021). https://www.dni.gov/files/ODNI/documents/assessments/GlobalTrends_2040.pdf.
- [3] NATO STO. Science & Technology Trends-2020-2040 Exploring the S&T Edge [EB/OL]. 2020. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf.
- [4] EPRS. Innovative Technologies Shaping the 2040 Battlefield [EB/OL]. (2021). [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/690038/EPRS_STU\(2021\)690038_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/690038/EPRS_STU(2021)690038_EN.pdf).
- [5] 科技部. 科技部副部长李萌主持召开第六次国家技术预测工作启动会 [EB/OL]. 2019. http://www.most.gov.cn/ztlz/lhzt/lhzt2019/xwfbhlhzt2019/201902/t20190227_145343.html.

- [6] JKA B, LGA B. Big Data and Artificial Intelligence: Will They Change Our Practice? [J]. Joint Bone Spine, 2020, 87(2):107-109.
- [7] CHRISTOPHER A. Emerging Disruptive Technologies and Their Potential Threat to Strategic Stability and National Security [EB/OL]. 2018. <https://fas.org/wp-content/uploads/media/FAS-Emerging-Technologies-Report.pdf>.
- [8] ANTON P S, SILBERGLITT R, SCHNEIDER J. The Global Technology Revolution: Bio/Nano/Materials Trends and Their Synergies with Information Technology by 2015 [EB/OL]. 2001. https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1307.html.
- [9] 王迪, 邓国威, 杨永强, 等. 金属异质材料增材制造研究进展[J]. 机械工程学报, 2021.
- [10] DUCHÊNE V. Identifying Current and Future Application Areas, Existing Industrial Value Chains and Missing Competences In the EU, In the Area of Additive Manufacturing (3D-Printing) [EB/OL]. 2016. <https://www.wifo.ac.at/wwa/pubid/59777>.
- [11] 楼铁柱, 刘术, 刁天喜. 人体增强技术及其军事应用前景与影响分析[J]. 军事医学, 2014(1): 4-4.
- [12] DANG X. Space Technology in Daily Use [J]. 今日中国: 英文版, 2021, 70(6):3-3.
- [13] 张灿. 联合国《高超声速武器——战略武器军控的挑战与机遇》报告解析[J]. 战术导弹技术, 2019(3):6-6.
- [14] 程姣, 李盛葆, 冀冰. 国内外量子科技发展形势及问题与挑战分析[J]. 中国新通信, 2021, 23(7):3-3.

作者贡献说明

史冬梅: 设计文章框架, 分析报告数据, 撰写文章;
褚旭龙: 检索资料, 文档校稿;
王 晶: 检索资料, 梳理内容。

作者简介



史冬梅: 研究员, 博士, 博士后合作导师; 享受国务院特殊津贴, 科技部高技术研究发展中心技术总师; 主持和参与国家软科学研究计划项目 4 项、科技部科技创新战略研究专项项目 5 项, 撰写研究报告 40 余篇, 第一作者发表论文 20 余篇; 主要研究方向: 高技术领域发展的战略、科技计划管理。