

量子信息技术发展与国家安全

黄钊龙 韩召颖

摘要 量子信息技术是新一代信息技术和第四次科技革命的关键组成部分。随着量子信息技术的日趋成熟,以探究量子理论、量子技术如何影响国家安全及国际关系理论为研究目标的“量子化国际关系”路径开始受到国际关系学界关注,但既有研究主要集中于“量子化国际关系”研究的第一条路径,即分析量子概念、量子世界观对国际关系等社会科学经典理论的影响。从量子信息技术的三大应用方向(量子计算、量子通信与量子精密测量)入手,探究量子信息技术如何影响国家及国际安全的既有格局,可填补“量子化国际关系”研究第二条路径的相对缺失。量子计算由于算力的巨大提升可能会对现有信息安全加密体系造成根本冲击,量子通信由于其加密的绝对性,反而又为各国信息安全体系的重构提供了可能。作为量子精密测量应用方向的代表,量子定位系统在精度、抗干扰、保密性方面的改进将有力增强各国的军事能力与国防安全,量子雷达对隐身目标潜在的准确探测能力则有可能影响目前的大国战略平衡。

关键词 量子信息科技;国家安全;国际安全;数据安全;军事安全

中图分类号 D920.0 **文献标识码** A **文章编号** 1672-7320(2024)02-0051-10

基金项目 国家社会科学基金重点项目(20AGJ010);中国博士后科学基金资助项目(2022M711713)

人工智能、量子信息等新兴技术的持续发展标志着第四次科技革命正日趋成熟。作为第一生产力,第四次科技革命有望使现有社会生产效率跃升一个新的台阶,将人类社会推入一个全新时代,从而使人类生产生活的方方面面都受到影响。正如世界经济论坛创始人克劳斯·施瓦布所指出的,“技术和数字化会改变一切”……日益成熟的“各项重大技术创新即将在全球范围内掀起波澜壮阔、势不可挡的巨变”^[1](P7-8)。

在安全领域,第四次科技革命亦有望重塑国家及国际安全的既有格局。查尔斯·韦斯指出,新兴技术对国家、国际安全将带来巨大影响,一方面,新兴技术可能使经济、工业、商业、军事等各领域的组织与交易更高效,令国家维护各领域安全的手段更多元;但另一方面,新兴技术对国家及国际安全也会带来新的挑战,新技术带来的冲击不仅会创造需要国家关照的新安全领域,同时对部分现有安全环境可能也会带来新的冲击^[2](P295-301)。

由于各领域技术相互交叉、彼此融合式的推动,第四次科技革命涉及的技术领域与种类异常繁杂,目前还不能根据某项单一技术去定义第四次科技革命的全部内涵。如根据美国《关键和新兴技术清单更新》界定,所谓的“关键与新兴技术”囊括达 100 多项具体技术领域,欧盟委员会相关报告所列举的“未来至关重要技术创新目录”也高达 100 项。尽管如此,某些对人类社会具备潜在重大改造意义的技术已开始被界定为第四次科技革命的代表,典型的如人工智能。与人工智能相同,量子信息也是第四次科技革命的核心技术之一,二者经常被共同视为引领未来数字技术革命、推动数字经济增长的关键推动力。

然而,相较于对人工智能的广泛关注,量子信息技术的国家及国际安全影响并未受到国际关系学界足够的重视^[3](P400)。

一、“量子化国际关系”研究路径的提出

量子信息科学与技术(Quantum Information Science and Technology, QIST)简称量子信息科技。根据美国《国家量子信息科学战略概览》等界定,量子信息科技是指使用量子叠加、纠缠等量子物理规律来存储、传输、操作、计算或测量信息的一项新兴技术,具体包括量子计算、量子通信、量子精密测量(量子传感)三大应用方向^[4](P113-115)。截至目前,量子信息科技的发展历经了三个阶段。第一阶段是20世纪的前30年。1900年德国物理学家马克斯·普朗克提出量子(Quantum)概念,此后经过沃纳·海森堡、埃尔温·薛定谔、马克斯·玻恩、尼尔斯·玻尔等广大科学家的共同努力,作为现代物理学两大支柱之一的量子力学最终被创立。第二阶段从第二次世界大战开始至20世纪80年代,也称第一次量子革命。其间晶体管、激光、原子钟、核磁共振等一大批富有变革意义的新技术被发明创造,尤其是晶体管的出现为后来经典计算机的诞生及互联网革命奠定了客观基础。第三阶段始于20世纪90年代,量子力学与信息科学的日益融合使一门交叉新兴学科——量子信息科学(Quantum Information Science, QIS)——最终诞生,第二次量子革命也随之开启^[5](P57)^[6](P1396)。近十年来,由于人类对微观粒子的操控能力大幅提升,第二次量子革命正在迅速催生一大批具有潜在颠覆意义的新兴技术,人类也因此被认为正在加速迈进量子信息时代^[7](P60)。

受到量子信息科技快速进步的影响,近年来国际关系学界逐渐开始关注量子信息科技对国家与国际安全,以及国际关系理论创新的实际影响。其中最具代表性的学者便属建构主义的代表人物亚历山大·温特,围绕如何将量子信息科技与国家安全、国际关系等社会科学研究相结合,温特与詹姆斯·德里安等人正式提出了“量子化国际关系”(Quantizing International Relations)研究的新路径。他们坚信,理论方法一致性与量子信息技术日益成熟的共同驱动,将使“量子化国际关系”路径在国际关系理论发展的历史图谱中展现出比其他理论创新更强的变革性和持久性^[3](P400)。

温特与德里安所提出的“量子化国际关系”研究主要关注三个内容(或包含三条研究路径):其一,量子力学的基本概念与世界观(量子叠加、纠缠、不确定性等)对国际关系理论等社会科学经典理论的根本冲击;其二,量子信息技术的日趋成熟对国家及国际安全的实际影响;其三,量子技术与量子理论对其它自然科学本身(生物学、化学、信息科学等)的重要影响,尤其是基于量子知识的新科学成果、新理论对国家安全与社会科学经典理论的后续间接影响^[3](P400-409)。由于温特与德里安所提第三条路径的最终讨论内容仍是围绕第一、二条路径展开,因此,可以将“量子化国际关系”研究的实际路径归纳为前两条。

作为“量子化国际关系”研究的最重要倡导者,包括温特本人在内,目前学界的探索性研究主要集中在“量子化国际关系”研究的第一条路径,即着重探究如何运用量子物理学的相关科学结论重新解构、重构包括国际关系理论在内的社会科学经典理论^{[8][9][10]}(P119-129)^[11](P193-209)。秦亚青就此指出,量子科学观对国际关系理论的影响虽然刚刚开始,但其可能预示着国际关系研究范式的新革命。以不确定性为基本特征的量子科学观正在对以牛顿经典思想为代表的经典科学观带来挑战,如果不确定性(本体不确定、认知不确定、因果不确定)被最终证明是世界的内禀属性,则国际关系研究中的三大经典理论都将面临根本挑战^[12](P143-144)。温特与德里安也得出判断:互补性、不确定性、纠缠、叠加等量子力学的基本原理既在微观物理层面否定了牛顿力学的大部分内容,也在宏观物理学层面挑战了经典的空间与时间概念。量子理论不仅使自然科学与社会科学关于因果关系、决定论的经典认知遭受冲击,也使观察者可以独立于被观察对象的科学哲学假设受到质疑,而在不确定性原理将认识论问题提升为本体论悖论之后,所有建立在经典科学观基础上的社会科学理论都有可能受到冲击^[3](P403, 408)。

相对第一条研究路径受到的关注,有意探索“量子化国际关系”研究的学者较少关注第二条路径,即

探究日益成熟的量子信息技术如何影响国家及国际安全。实际上,量子信息时代的到来会对国家及国际安全等人类生产生活的多个领域产生重要影响。印度国防研究所高级研究员阿杰·勒勒就认为,量子技术不久将重塑整个世界的未来^[13](Pv)。德勤公司(Deloitte)所发布的研究报告《量子技术和国家安全的现实主义指南》也指出,尽管刚刚起步,但量子技术的发展肯定会对国家安全与大国竞争产生重大影响。哈德逊研究所发布的研究报告《量子计算:如何应对国家安全风险》则进一步认为,量子信息技术将成为定义未来几十年甚至几个世纪的全球信息技术,因而第二次量子革命足以代表人类现代历史上的任何一场伟大(政治、技术)革命。

从国际政治的现实发展看,在大国竞争重新回归国际关系发展变革主导力量的时代背景下,国家及国际安全业已成为各大国首要关注的议题领域。自2013年11月中共十八届三中全会决定设立国家安全委员会以来,国家安全已经被明确界定为安邦定国的重要基石,以及中国共产党带领人民坚持和发展中国特色社会主义的头等大事^[14]。党的二十大报告更是以“推进国家安全体系和能力现代化,坚决维护国家安全和社会稳定”为题来专门强调国家安全的重要性^[15]。

因此,从中微观层面及时关注第二次量子革命对国家及国际安全的动态影响已经成为一项亟待深入探究、兼具理论与现实价值的课题。本文将立足学界关于量子信息技术进展及其安全影响的既有学术成果,以目前量子信息技术发展的主要方向为切入口,力图着重探讨量子计算、量子通信与量子精密测量技术所产生的最直接、最重要的国家安全影响。

二、量子计算、量子通信与数据安全

随着第四次科技革命进程的逐步深入,人类被认为正在迈入一个与之前农业文明和工业文明不同的时代——数字时代。之所以将其称之为数字时代,是因为新信息技术的出现带动既有生产方式发生了重大变化,数据逐渐成为一种新的生产要素^[16]。据估计,现在全球的数据增长速度大概是每三年翻一番,也就是说,人类现在每三年所创造的数据便是之前时代的总和^[17](P389)。

数字时代的到来具有双重影响。一方面,海量数据的积累孕育着巨大的经济潜力和可能性。作为一种新型的生产要素,数据已经成为数字时代最重要的战略资源^[18](P91,115)。但另一方面,数字时代对各国而言具有新的潜在风险。由于国家政治、军事、外交、经济以及个人几乎所有信息已深度嵌入万物互联的网络体系,数据安全性的重要性日益上升,数据安全已成为保障各国经济发展、社会稳定的重要基石,可以说没有数据安全就不会有真正的国家安全^[19](P32)。

为避免概念混用,可先对信息、数据、信息安全、数据安全等近似概念做一明晰区分。信息泛指自古以来人类社会所传播和记录的一切内容,在以互联网技术为代表的经典信息以及新兴数字技术催生下日益成熟的数字时代,由于与国家安全相关的海量信息基本都以数据形式呈现^{①[13]}(P39),所以信息与数据在内涵上已基本等同,而数据安全也就基本与狭义信息安全等同了^{②[20][21]}(P321)。

(一) 量子计算技术对经典数据安全体系的解构

自古以来,加密一直是确保信息安全的基础与保障,数字时代数据信息安全的确保同样依靠各类信息加密技术。现行最常见的数据加密体系如质因数分解(RSA)等都属于建立在数学难题基础上的经典密码体系,其安全性以传统计算机运算能力有限为前提,换言之,是传统计算机的“算力不足”确保了各国对数据信息安全的要求^[22](P140)。

然而,量子计算机将从根本上冲击甚至颠覆现有数据加密体系已成为普遍共识。量子计算是一种

① 数据一般有两种呈现形式:定量数据(数字形式)、定性数据(文本、图像、音视频等)。

② 广义的信息安全与网络安全概念非常接近,它们既包括确保信息载体等关键基础设施的安全,也包括信息内容自身的安全;狭义的信息安全则主要是指信息内容的安全,数据安全主要是指数据内容的安全,可见数据安全虽然只是广义信息安全的一个子集,但与狭义信息安全的内涵基本一致。

遵循量子力学规律,以量子比特为基本单元,利用量子叠加、干涉等特性对信息进行高速数学和逻辑运算、存储、处理的新型计算方式,与经典计算机相比,量子计算机存储能力强、运算速度快,是未来计算技术发展的新方向^[23](P13)。德勤公司的研究报告《量子技术和国家安全的现实主义指南》认为,如果说1945年12月诞生的世界上第一台现代数字计算机埃尼阿克(ENIAC)将世界从机械计算带入了经典计算时代,量子计算技术所带来的革命性变革将把世界从经典时代带入量子时代。相对经典计算机的串行计算方式,量子计算机由于具有强大的并行运算能力,算力将因此得到巨大跃迁,量子计算机算力的指数级提升使目前基于数学难题的传统加密体系面临被彻底破解的可能^[21](P140-141)。

为强调量子计算机对国家及国际安全所带来的重大威胁,有学者特意将通用量子计算机未来可能出现的日期定义为下一个“Q-日”(Q-Day)^②。从现实来看,自2019年谷歌公司推出的“悬铃木”(Sycamore)量子计算机与2020年中国科大公司推出的“九章”量子计算机相继宣布实现“量子优越性”(Quantum Supremacy)后,最近一两年,量子计算机的研制再次实现了较快进展。例如,2021年中国的“九章-2”“祖冲之-2”量子计算机不仅实现了在某一问题上对传统计算机的再次超越,与之前的“九章”“祖冲之”量子计算机相比,其算力也实现了新的指数级提升。按目前的技术发展速度,能够破解经典加密体系的专用量子计算机出现已不再言之过早^[24](P113,123)。

一旦合适的量子计算机最终被成功开发,现在各国的信息加密系统将如同虚设,由此可能带来严重的国家安全影响。首先,也是最重要的,这势必将导致国家海量的政治、外交、金融、国防,企业商业机密以及公民的隐私信息等加密数据毫无秘密可言,从而给国家安全带来重大挑战。其次,随着人工智能、自主系统、物联网技术的快速发展,设备数据安全系统被侵入的风险还会极大危及国家重要军事、政治、民生、金融以及其它极度依赖数据系统安全运行的国家关键基础设施^[5](P60)。

(二)量子通信技术对国家信息安全的重构

量子计算技术对经典信息加密体系带来了冲击,但量子加密技术为各国重新建立绝对安全、不可破解的数据信息安全体系提供了可能^[4](P114)。利用单量子不可分割、量子态不可克隆、量子纠缠等量子特性的量子加密技术与基于新型数学难题的抗量子计算密码(Quantum Resist Cryptography, QRC)或后量子密码(Post Quantum Cryptography, PQC)一起被视为未来量子计算机时代信息安全的新保障,并因此催生了一个新的概念——量子安全。根据欧洲电信标准协会界定,所谓量子安全,是指即使面对量子计算机的攻击也能确保信息内容的绝对安全。由于量子加密能实现人类对信息安全的更高要求,因此其也被视为数字时代信息安全的“福音”^③(P582)。

量子加密领域目前发展最快、受到关注最多的是量子通信技术。量子通信是以量子比特为信息载体,利用量子叠加与纠缠特性实现信息交互的新型通信技术,量子通信分为两种典型应用:量子密钥分发与量子隐型传态,由于后者技术实现难度过大距实用还有较长距离,所以目前一般提到的量子通信即指量子密钥分发(Quantum Key Distribution, QKD),利用量子密钥分发完成的量子通信可以实现数据信息传输的绝对安全^[26](P9-10)。量子密钥分发除应用量子通信外,在与其它加密技术结合后还能实现数据信息存储,包括存储于各类移动终端、本地设备与网络云端数据的绝对安全。因此,以量子通信为代表的量子加密技术将成为未来确保国家政务、国防、金融、交通物流、医疗(个人、国家基因)等关键数据信息安全以及电网等关键基础设施运行安全的新保障^[27](P24)。

得益于中国在量子通信技术领域的领先地位,国内一些行业已经在使用量子通信来确保数据信息

① 之所以将其视为颠覆技术,原因在于相较于绕开加密体系、寻找漏洞与后门的迂回攻击,量子计算是对信息安全体系进行直接攻击,是对经典信息安全整个体系造成的基础性破坏。

② 上一个“Q-日”是为了形容1945年核武器爆炸对国家安全与国际关系所带来冲击而命名的。

③ 迈克尔·尼尔森和艾萨克·庄针对量子计算机与量子密码“一攻一守”“一破一立”的现象评论道,“幸运的是,量子力学用一只手带走的東西,它用另一只手带回”。

的安全性。其中尤以金融业最具代表性,随着金融交易网络化、系统化、货币数字化的快速推进,金融交易的机密性、完整性、可靠性要求变得日益迫切^[27](P24)。中国工商银行于2015年、2017年率先在金融行业实现量子通信技术的同城与异地数据加密传输后,2019年又率先在国内银行业中完成了量子随机数的场景试点。近两年来,量子金融应用取得了长足的进步,应用场景已经涵盖了银行、保险、证券、期货、反欺诈、资产定价等各领域,2021年4月,中国量子金融行业应用生态联盟正式签约成立^[28](P112-113)。除金融业外,我国地方政府应用量子通信进行政务信息传输也在快速推进。2017年,济南率先建成全国首个商用量子通信专网并使用其为济南党政机关进行量子安全通话与公务数据安全传输;2022年8月,中国目前规模最大、用户最多、应用最全的量子保密通信城域网——合肥量子城域网正式开通,该网可为合肥市、区两级近500家党政机关提供量子安全接入服务^[29](P48)。

三、量子精密测量技术与军事安全

量子信息技术除激起大国科研部门的新一轮研发竞赛外,正日益受到各国军事部门的高度关注。相较量子计算与量子通信,量子精密测量行业发展的军事导向更为明显^①[30](P23)。所谓量子精密测量或量子传感是指基于量子相干、量子纠缠等量子力学特性实现对目标物理量进行高精度测量的技术^[31](P397)。具言之,量子精密测量或量子传感是利用对环境高度敏感的量子(如电子、光子等)来实现对被测目标的测量,相比传统传感器,量子传感器在灵敏度、准确率与稳定性方面有望取得显著改进,因而被视为传感领域的变革性技术^[32](P66)。量子全球定位系统与量子雷达目前是量子精密测量行业发展较快且与军事安全最相近的两大技术领域。

(一) 量子定位系统补强各国军事能力

导航与定位技术自出现以来一直便是信息时代军事安全不可或缺的关键组成部分^[33](P67-68)。以全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)中使用范围最广、时间最久的美国全球定位系统(Global Positioning System, GPS)为例,美国国防部在最初设计时其首要目的便是出于军事需求^[34](P113)^[35](P64-66)。全球卫星导航系统现在负责为飞机、船舰、导弹、坦克等一切需要定位导航的作战武器提供服务,其对各国军事安全的重要性已不亚于任何杀伤性武器本身,可以说卫星导航在现代军事安全中的地位已经不可替代^[36](P60)^[37](P61)^[38](P33)。以实践为证,美国在21世纪几场战争中能够轻松获胜的关键被认为就源于其在导航定位技术领域相较对手的绝对优势^[39](P38,43)。

受限于经典物理规律,目前通用的传统卫星导航系统逐渐面临测量精度提高难、保密性差、抗干扰能力弱三个重要缺点^②[40](P41)^[41](P5853)。以美国全球定位系统为例,GPS目前能提供的精度位置信息只限于米量级,且极易受到外界对GPS信号的干扰,包括水下、密林、地下等有障碍自然物体的遮挡,以及GPS干扰机等人为因素的影响,此外,电磁信号易被捕获与破解的特性还增加了使用GPS定位导航的保密性与安全性风险^[42](P46-54)^[43](P31)。

与传统卫星定位系统不同,正在掀起一轮定位导航技术领域新革命的量子定位系统可以同时传统卫星定位系统测量精度提高难、抗干扰能力弱与保密性差的三大缺陷进行重大补足^[33](P67-68)。就提高精度而言,量子定位系统有望将定位精度提高到厘米级别,根据量子定位系统技术的相关理论,当一个量子脉冲信号包含100个光子时,量子定位系统的定位精度会比当前卫星定位系统提高10倍,当包含100万个光子时,其精度相比目前卫星定位系统将会提高1000倍^[40](P40-42)。另外,就抗干扰能力、保密安全性而言,由于量子叠加、不可克隆、纠缠等相关特性的存在,量子定位导航技术可以大幅提升对

① 为了强调量子定位导航、量子雷达等量子信息技术对未来战争形态的影响,有学者甚至提出了“量子战争”(Quantum Warfare)的概念。

② 传统卫星导航系统的主要工作原理是通过在轨卫星重复向空间发射电磁脉冲信号并检测它们到达检测点的时间延迟来实现定位、授时与导航。由于会受到电磁信号传播固有缺陷的影响,因此传统卫星导航系统会出现上述缺点。

抗电子干扰与物理障碍干扰的能力,且量子定位系统可以实现在使用过程中对使用者位置信息的绝对保密^[411](P5854)^[441](P4)。

由于定位导航技术对现代军事安全的重大意义,量子定位系统正日益受到各国的重视。以美国为例,美国国防部正加紧对使用量子传感为其部队与武器提供定位导航服务的研究。其实早在2010年,美国国防部高级研究计划局就已经启动了名为“Micro-PNT”的研究计划,以支持新的量子定位导航授时系统研发^[451](P74)。据《金融时报》报道,英国国防部也早已投资上百万英镑用以研究一种不会受到数据篡改与信号干扰影响的量子定位系统^[461](P7)。

作为下一代导航、定位与授时(PNT)技术的重要发展方向,全球量子定位系统一旦成熟将对各国军事能力、大国军事格局甚至相关战争战术理论都会产生深远影响。首先,量子定位系统具备的保密性与安全性在国防、航空航天领域具有不可估量的重大战略价值,掌握相关技术将有效增强各国尤其是长期依赖美国GPS系统各大国的军事能力^[431](P29-43)。其次,量子定位系统抗干扰能力的增强将使复杂地理环境下(水下、地下)的战场环境出现重大变化,这对各国基于目前作战条件而形成的既有战争、战术理论来说必定会带来重要挑战^[301](P30)。最后,量子定位导航精度的提升对依赖精确制导的军事武器,如各类导弹尤其是反导武器将有重大影响^[461](P10),武器精度的提升势必会对目前的大国军事攻防格局及既有作战理论带来一定影响^{①[471][481]}(P109)。

(二)量子雷达影响大国战略平衡

与定位导航技术类似,雷达虽然在地质观测、海洋观测、资源勘探、气象监测等民用领域具有很大用处,但其重要性更加突出体现在军事领域。雷达最初被设计制造的目的正是出于军事需求,传统雷达技术的成熟更是主要受益于二战的推动^[491](P5)。一般谈到的雷达,即传统雷达(Classical Radar, CR),主要是利用雷达天线发射的电磁波在被测物体造成回波从而实现目标探测与识别的技术。除上述提到的民用领域,雷达主要用于探测作战飞机、导弹、航天器、潜艇等军事目标,可实现全天时、全天候和复杂环境下对各种军事威胁目标的搜索、监测与跟踪,是各国军事安全的盾牌^[501](P6-7)^[511](P1599)^[521](P290)。

受电磁波信号传播的物理学规律限制,以及各种隐身技术、电子干扰技术发展的影响,传统雷达目前面临抗干扰能力差、远距离探测与成像受限、隐身目标识别困难等重要挑战,已经越来越难以胜任日益复杂的军事目标感知任务^[531](P492)^[541](P1)。尤其是对关键隐身军事目标探测的困难,可能会给国家安全带来巨大的潜在隐患。正如有学者所指出的,未来战场将主要是隐身武器的较量,不论是有人机、无人机,还是常规导弹、核导弹都在朝着隐身化方向发展,这对主要依靠传统雷达的各国军事防御系统会造成新的重要挑战^[551](P100)。

军事安全的重要需求与量子信息技术进步的共同推动,使旨在克服传统雷达缺陷的量子雷达技术得以快速发展。量子雷达(Quantum Radar, QR)是一种基于量子物理学规律的新型探测技术,具有同等条件下对更远距离目标的探测与成像能力、更强的抗干扰能力,最大的突破是对隐身目标潜在的准确探测能力^[561](P2)^[571](P457)^[581](P11)。正如印度尼西亚国防大学的苏菲·宁西等学者所看到的,量子雷达由于可以有效对手隐形作战武器进行探测,因此正日益引起各军事强国的极大关注^[591](P273)。其实早在2011年,美国海军研究办公室就专门组织过研讨会讨论量子雷达的研发问题,为推动相关技术尽快从概念走向实用,还专门出版了《量子雷达》(Quantum Radar)一书。作为第四次科技革命的重要参与者,中国对量子雷达的研究也正在紧锣密鼓地开展。据《科技日报》消息,2016年由电子科技集团14所研制的单光子量子雷达系统就获得了初步成功。

① 正是得益于半导体技术的领先,美国才能在海湾战争、伊拉克战争中展现出惊人的“效率”。远程精准打击的实现提升了美国空军在美国军事行动中的重要性,而由自身低伤亡所带来相对廉价的政治代价又刺激美国在冷战后疯狂对他国使用强制外交,而不再坚持冷战时期的威慑。因此,20世纪八九十年代芯片技术的发展,先后带来了(美国)作战理论与美国外交传统的渐进变革。

各军事强国的关注与相关技术的初步实用证明,量子雷达有望在未来战争、空间探索尤其是现代军事安全的维护方面展现出巨大战略价值^[52](P291)^[57](P457)。以大国军事格局中最重要的大国核威慑体系为例,根据核威慑理论主要代表人物阿尔伯特·沃尔施泰特的观点,成功的(核)威慑需要拥有无懈可击的第二次打击能力^①^[60](P211-234)^[61]。由于陆基(尤其是固定发射装置)核武器作为有效二次核打击能力受到越来越多的技术挑战,因此海基、空基核武器发射平台在确保大国战略稳定方面的重要性日益上升^[62](P50-54)^[63](P19-20)^[64](P372-373)。在目前的军事技术条件下,海基、空基核武器主要由各种类型的隐身潜艇与战略轰炸机构成,如中国日益成熟的巨浪-2战略核潜艇与美国最新曝光的B-21隐形战略轰炸机等。量子雷达因其目标识别精度与敏感度的提升从而具备精确探测深水潜艇与隐形战机的潜力,因此,量子雷达技术成熟后无疑会对既有核威慑理论与大国战略稳定格局带来新的挑战。这种可能性其实早已被威慑理论的另一位重要代表人物伯纳德·布罗迪所预言,布罗迪认为,新型技术的出现肯定会冲击既有的稳定的相互威慑体系^②^[65](P386-392)。除可能影响大国核战略格局稳定外,量子雷达还可能未来被用于日益激烈的大国太空竞赛,甚至太空战^[30](P36)。

四、量子信息技术对国家安全其他领域的影响

上文重点分析了量子计算与量子通信技术对数据信息安全的具体影响和量子定位导航与量子雷达技术对现代军事安全的具体影响。作为量子力学与信息科学的交叉学科,量子信息科技的影响其实并不局限于上述重点领域,其对正在发展、攸关国家安全的其它新兴技术甚至一些基础科学都将产生不同程度的影响。例如,量子密钥分发除能确保各种数据信息的存储与传输安全外,还被认为非常有助于推动新兴的区块链技术与产业发展。此外,量子精密测量技术的日益成熟更是有可能促进基础物理学、地质检测、森林防火、气候监测、生物医学检测、能源勘探、高端工业制造、空间科学等众多非军事技术的发展,进而惠及社会安全、能源安全、科技安全等众多国家安全的关键领域^[45](P72-76)。

倘若比较来看,聚焦数据处理的量子计算技术影响范围可能更广一些,正如有学者将其与第一台经典计算机或核武器诞生相提并论一样,在数字时代量子计算机算力巨大提升的潜在好处将是无穷的。恰如我国“东数西算”工程相关负责人所指出的,如农业时代的水利、工业时代的电力,数字时代的算力已经成为国民经济的核心生产力^{[66][67]}。因此,量子计算正在成为各大国抢占军事、经济、科技各领域主导地位的新战略制高点,而量子计算机算力的提升除具备破解现有信息加密体系的潜力外,在很多新兴技术领域与行业都展现出了巨大的潜在价值。

首先,量子计算具有强大的并行计算和模拟能力,这为所有需要大规模计算才能解决的问题提供了良策。金融服务(资产与风险管理、欺诈检测)、药物研发、数据深度挖掘与大数据分析、新材料制造、交通物流与供应链管理、气象预报等众多领域都将因量子计算机的逐步成熟迎来新的发展契机^[26](P10)。量子计算还具备为国防部门的战争预测、作战方案制定、作战评估与决策、指挥体系现代化提供巨大潜在帮助的可能。其次,作为第四次科技革命最重要的两项技术,量子计算机的成熟还将进一步推动人工智能技术的发展进步。由于数据规模的急剧增长已逐渐逼近经典计算的极限,人工智能技术的进步因此面临巨大挑战^[68](P144-145),然而,算力获得极大提升的量子计算机却能够支撑起人工智能基于海量数据深度学习的需要,因此有望推进人工智能技术进一步迈向成熟。最后,作为一项使能技术,量子计算带来的算力飞跃,还有望对物理、化学、生物、材料等多个基础科学带来重要影响。因此,量子计算除将有力确保国家数据安全外,对国家维护科技、生态医疗、能源、社会等各领域安全均具有重大的潜在战

① 因为技术的发展会让很多战略武器难以经受突然打击,因此,只有彼此都具备稳定的第二次核反击能力,核威慑才最具可信性,双方才属于建立了战略稳定(相互确保摧毁)。

② 兰德公司早在2020年启动的“21世纪战略威慑”研究成果中就明确指出,包括量子信息技术在内的一大批新兴技术正在缓慢但重大地影响大国既有威慑体系的有效性与稳定性。

略价值。

虽然有学者质疑当下量子信息存在技术炒作的嫌疑,但量子理论过往和目前愈益成熟的技术应用表明,量子技术对国家安全与世界政治确实具有重要影响。第一次量子革命带来了原子能、半导体等重大技术,由量子力学与信息科学深度融合所带来的第二次量子革命必将对更广行业带来更大冲击。对中国而言,第二次量子革命还带给我们一次从经典信息技术时代的跟随者、模仿者转变为未来数字时代引领者的历史机遇。2020年10月16日,习近平在中共中央政治局“量子科技研究和应用的前景”专题集体学习时指出,“要充分认识推动量子科技发展的重要性和紧迫性,……把握大趋势,下好先手棋……抢占量子科技国际竞争制高点,构筑发展新优势”^[69]。这一重要讲话为进一步扩大我国量子信息科技优势,更好维护我国科技安全、国家安全提供了战略引领。立足我国量子信息科技发展现状,借鉴国际有益经验,应着重落实以下几点:首先,尽快制定量子信息科技人才培养与引进的机制体制。人才是大国量子竞赛的重点所在。美国量子信息科学技术劳动力发展国家战略计划就指出,人才缺乏是当前制约各国量子信息技术进步的首要难题。其次,继续加大对量子信息科技的研发投入。由于量子信息科技对国家安全而言具有潜在的重大意义,一场席卷全球的量子科技竞赛正在上演,只有持续的研发投入才能确保在这一未来技术领域占得先机。最后,进一步加强政产学研四位一体机制建设。目前我国在量子信息产业联盟建设方面严重落后于美欧等发达国家,因此,急需从国家层面加强制度、机制建设,以尽快为量子信息科技政产学研四位一体发展格局的成型提供制度支撑。在此过程中,需要及时将国家安全的关注重点适度嵌入量子信息产业联盟的成立、发展议程。

参考文献

- [1] 克劳斯·施瓦布.第四次工业革命:转型的力量.李菁译.北京:中信出版社,2016.
- [2] Charles Weiss. Science, Technology and International Relations. *Technology in Society*, 2005, 27(3).
- [3] James Derian, Alexander Wendt. Quantizing International Relations: The Case for Quantum Approaches to International Theory and Security Practice. *Security Dialogue*, 2020, 51 (5).
- [4] 李大光.当前世界量子科学技术的发展与应用前景.人民论坛·学术前沿,2021,(4).
- [5] 郭国平.量子计算政策发展与应用研究综述.人民论坛·学术前沿,2021,(4).
- [6] 郭光灿.量子信息技术研究现状与未来.中国科学,2020,(9).
- [7] 蒿巧利,赵晏强,李印结.全球量子传感发展态势分析.世界科技研究与发展,2022,(1).
- [8] James Derian, Alexander Wendt. *Quantum International Relations: A Human Science for World Politics*. New York: Oxford University Press, 2022.
- [9] 亚历山大·温特.量子心灵与社会科学.祁昊天、方长平译.上海:上海人民出版社,2021.
- [10] Alexander Wendt. Why IR Scholars Should Care About Quantum Theory: Burdens of Proof and Uncomfortable Facts. *International Theory*, 2022, 14(1).
- [11] Alexander Wendt. Why IR Scholars Should Care About Quantum Theory: Critics in the PITs. *International Theory*, 2022, 14(1).
- [12] 秦亚青.知识观重建与国际关系理论的发展进路——以三大理论批判为例的分析.中国社会科学,2022,(9).
- [13] Ajey Lele. *Quantum Technologies and Military Strategy*. Berlin: Springer, 2021.
- [14] 中共中央关于党的百年奋斗重大成就和历史经验的决议.人民日报,2021-11-17.
- [15] 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告.人民日报,2022-10-26.
- [16] 中共中央 国务院关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见.人民日报,2020-04-10.
- [17] 吴军.全球科技通史.北京:中信出版集团,2019.
- [18] 郎平.互联网如何改变国际关系.国际政治科学,2021,(2).
- [19] 王瑞,袁勤俭.数字时代背景下国家信息安全管理研究的关键问题.图书与情报,2022,(1).

- [20] 中华人民共和国数据安全法. 人民日报, 2021-06-19.
- [21] 商书元. 信息技术导论. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [22] 汤大彬, 唐宾徽. 量子计算机对信息安全的挑战分析. 科技创新导报, 2018, (20).
- [23] 郭国平. 量子计算技术的产业变革与生态建构. 人民论坛, 2023, (16).
- [24] 袁岚峰. 量子信息简话. 北京: 中国科学技术出版社, 2021.
- [25] Michael Nielsen, Isaac Chuang. *Quantum Computing and Quantum Information*, Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
- [26] 潘建伟. 更好推进我国量子科技发展. 红旗文稿, 2020, (23).
- [27] 余泽平. 量子科技及其未来产业应用展望. 中国工业和信息化, 2020, (11).
- [28] 许健. 量子保密通信在金融领域的应用研究. 银行家, 2022, (12).
- [29] 刘菁, 徐海涛, 陈诺. 创新驱动 安徽跨越. 中共合肥市委党校学报, 2022, (6).
- [30] Michal Krelina. Quantum Technology for Military Applications. *EPJ Quantum Technology*, 2021, 8(24).
- [31] 郭光灿. 量子十问之九: 量子传感刷新测量技术极限. 物理, 2019, (6).
- [32] 张萌. 量子测量技术与产业发展及其在通信网中的应用展望. 信息通信技术与政策, 2020, (4).
- [33] 吴德伟, 苗强, 何思璇等. 量子传感的导航应用研究现状与展望. 空军工程大学学报(自然科学版), 2021, (6).
- [34] 郭凌, 杜伟伟, 刘凌等. GNSS发展对军事物流影响探析. 全球定位系统, 2020, (5).
- [35] 潘寒尽, 邱学军. GPS发展现状及其军事应用. 数字通信世界, 2011, (2).
- [36] 刘天雄. GPS全球定位系统军事用途是什么? 卫星与网络, 2012, (Z1).
- [37] 徐伯健, 窦长江. GSP系统的军事应用研究. 工程应用, 2004, (9).
- [38] 李涛, 巩建华, 万明杰等. 导航卫星系统在军事上的应用. 火炮发射与控制学报, 2006, (2).
- [39] 辛洁. 卫星导航系统发展及其军事应用特点分析. 导航定位学报, 2015, (4).
- [40] 张欢阳, 张冠杰, 林象平. GPS的未来—量子定位系统. 舰船电子工程, 2004, (5).
- [41] 宋媛媛, 丛爽, 尚伟伟等. 量子导航定位系统国内外研究现状及其展望(上), 第36届中国控制会议论文集, 2017.
- [42] 徐婧, 唐川, 杨况骏瑜. 量子传感与测量领域国际发展态势分析. 世界科技研究与发展, 2022, (1).
- [43] 宋培帅, 马静, 马哲等. 量子定位导航技术研究与发展现状. 激光与光电子学进展, 2018, (9).
- [44] 黄红梅, 许录平. 量子定位技术综述. 激光杂志, 2015, (11).
- [45] 张萌, 赖俊森. 量子测量技术进展及应用趋势分析. 信息通信技术与政策, 2021, (9).
- [46] 葛悦涛, 蒋琪文, 苏丽等. 量子定位系统技术发展及其对导弹武器发展的影响. 导航定位与授时, 2014, (2).
- [47] Christopher Miller. *Chip War: The Fight for the World's Most Critical Technology*. New York: Scribner, 2022.
- [48] Cohen Eliot. The Mystique of U.S. Air Power. *Foreign Affairs*, 1994, 73(1).
- [49] 黄志洵, 姜荣. 从传统雷达到量子雷达. 前沿科学, 2017, (1).
- [50] 孙悦, 马菁汀, 刘尊龙等. 量子雷达研究新进展. 战术导弹技术, 2018, (5).
- [51] 李庶中, 李越强. 量子雷达应用述评. 电讯技术, 2021, (12).
- [52] 王士龙. 量子雷达在未来电子战中的应用前景. 信息通信, 2019, (3).
- [53] 王宏强. 量子雷达及其研究进展. 电子学报, 2017, (2).
- [54] 金林. 量子雷达研究进展. 现代雷达, 2017, (3).
- [55] 冯胜, 胡光桃, 卢亚鹏等. 基于被动量子雷达的隐身目标探测研究. 重庆大学学报, 2021, (3).
- [56] 吴峰, 顾杰, 鲜佩. 量子雷达发展趋势及对抗方法. 电子信息对抗技术, 2021, (3).
- [57] 周城宏, 钱卫平. 量子雷达技术发展展望. 雷达科学与技术, 2015, (5).
- [58] 鲜佩, 吴峰. 量子雷达目标探测性能分析. 电子信息对抗技术, 2021, (4).
- [59] Soufi Jayanti Ningsih, Achmad Farid Wadjudi, Setiyo Budiyananto. The Importance of Quantum Technology in National Defense in the Future. *The International Journal of Business Management and Technology*, 2022, 6(1).
- [60] Albert Wohlatetter. The Delicate Balance of Terror. *Foreign Affairs*, 1959, 37(2).
- [61] 托马斯·谢林. 冲突的战略. 赵华等译. 北京: 华夏出版社, 2011.
- [62] Thomas Schelling, Morton Halperin. *Strategy and Arms Control*. New York: Twentieth Century Fund, 1961.
- [63] Morton Halperin. *Contemporary Military Strategy*. Boston: Little Brown, 1967.

- [64] 詹姆斯·多尔蒂,小罗伯特·普法尔茨格拉夫. 争论中的国际关系理论. 阎学通、陈寒溪等译. 北京:世界知识出版社,2013.
- [65] Bernard Brodie. *War and Politics*. New York: Macmillan, 1973.
- [66] 周人杰. 实施“东数西算”工程 打造算力一张网. 人民日报,2022-03-01.
- [67] 谷业凯,余建斌. 加快打造全国算力“一张网”. 人民日报,2022-03-27.
- [68] 刘铁男,杨巍,魏凡. 量子计算发展与应用动向研究. 中国电子科学研究院学报,2022,(2).
- [69] 深刻认识推进量子科技发展重大意义 加强量子科技发展战略谋划和系统布局. 光明日报,2020-10-18.

An Analysis of the Impact of Quantum Information Technology On National Security

Huang Zhaolong, Han Zhaoying (Nankai University)

Abstract Quantum information is a key component of the next-generation information technology and the new round of revolution in science and technology. As quantum information technology becomes increasingly mature, the "Quantizing International Relations" approach, which aims to explore how quantum theory and quantum technology affect national security and international relations theory, has begun to attract attention from the academic community of international relations. However, the main interest of existing research focuses on the first path of "Quantizing International Relations" research, that is, exploring the impact of quantum concepts and quantum worldviews on classic theories of social sciences such as international relations. The paper focuses on the three major applications of quantum information technology-quantum computing, quantum communication and quantum precision measurement-to explore how quantum information technology affects current landscape of national and international security, thus filling in the second path of "Quantizing International Relations". Quantum computing may have a fundamental impact on the existing information security encryption system due to the huge increase in "computing power". While quantum communication may make it possible to reconstruct the information security system due to its absolute encryption. As the representative of quantum precision measurement, quantum positioning systems will effectively enhance a country's military power and national security with improvements in its accuracy, anti-interference and confidentiality. The potential accurate detection capabilities of quantum radars for stealth targets are likely to affect the current strategic balance between major powers.

Key words quantum information technology; national security; international security; data security; military security

■ 作者简介 黄钊龙,南开大学周恩来政府管理学院助理研究员,天津 300350;

韩召颖,南开大学周恩来政府管理学院教授。

■ 责任编辑 桂 莉