

从安全困境到全球治理： 量子科技的国际政治博弈^{*}

高奇琦 陈志豪

【内容摘要】 作为一种颠覆性的新技术，量子信息技术极具跨时代意义。该技术不仅是推动智能革命的引擎，还是促进人类认知变革的重要力量。正如大多数技术首先运用于军事领域一样，量子信息技术也将使军事领域产生巨大的变革，但同时也会带来新的安全困境。与之相对，量子信息技术对全球政治秩序已产生重大影响，当前的全球政治秩序正在重塑进程之中，各国为了占据新一轮国际政治博弈的制高点，已围绕量子信息技术展开军备竞赛，并初步形成了一定的竞争格局。可以说，各国之间的量子鸿沟已然展现。美国在其中处于全球领先地位，但相较以往其在技术上的优势正在缩小。而为了避免美国继续一家独大，利用在量子信息技术中的领先地位维持其在政治博弈中的霸权，中国有责任、也有义务深度参与到量子信息技术的全球科技创新合作与治理之中，为全球量子科技治理贡献中国经验和中国方案，以避免量子科技的过度军事化，促进其成果普惠全人类。

【关键词】 量子信息技术 安全困境 全球治理 智能革命 中国方案

【作者简介】 高奇琦，华东政法大学政治学研究院教授(上海 邮编:201620)；
陈志豪，华东政法大学政治学与公共管理学院博士研究生(上海 邮编:201620)

【中图分类号】 O413 D5 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1006-1568-(2021)04-0049-24

【DOI 编号】 10.13851/j.cnki.gjzw.202104003

^{*} 本文系国家社科基金重点项目“加快数字化发展与建设数字中国的政治保障研究”(21AZD021)的阶段性成果。

2020年10月16日，习近平总书记在中共中央政治局第24次集体学习中强调，要充分认识到推动量子科技发展的重要性和紧迫性，加强量子科技发展战略谋划和系统布局，把握大趋势，下好先手棋。^①而在此之前，同年8月28日，美国成立了国家量子计划咨询委员会（NQIAC），旨在保持其在量子信息科学领域的国际领先地位。^②与此同时，欧盟、德国、英国、日本、俄罗斯、印度等也高度重视量子信息技术，并将其作为科技领域重点关注的焦点之一，规划布局和投资支持力度也在进一步加大。量子科技已经成为国内外都重点发展以抢夺制高点的核心科技。那么，这一备受世界瞩目的新兴技术究竟是什么？该技术又会给国际政治格局带来哪些影响？本文重点关注量子信息技术在新一轮国际政治博弈中的重要作用，在对相关资料进行梳理和归纳研究的基础上，围绕量子科技的跨时代意义、量子信息技术在军事领域的介入、量子信息技术造成的全球系统性影响及当下效应等问题进行探讨，并据此提出在量子科技全球治理与合作领域应坚持的中国方案。

一、量子信息技术的跨时代意义

何谓量子信息技术？如果仅从字面含义来看，量子信息科学是量子力学与传统意义上的信息科学的交叉学科，该技术主要借助量子力学的特性，用以实现经典信息科学实现不了的功能。^③具体而言，就是利用量子力学的各种特性和原理，比如叠加、测量、纠缠三大违反经典物理世界认知的量子奥义，用于加密通信、计算、测量等信息科学的应用之中。

一般而言，我们将物理世界分成两类：其一为经典物理世界，即遵从经典物理学的物理客体所构成的物理世界；其二为量子世界，即遵从量子力学

① 习近平：《深刻认识推进量子科技发展重大意义》，《人民日报》2020年10月18日，第1版。

② White House Office of Science and Technology Policy and the U.S. Department of Energy, “White House Office of Science and Technology Policy and the U.S. Department of Energy Announces the National Quantum Initiative Advisory Committee,” August 2020, <https://www.energy.gov/articles/white-house-office-science-and-technology-policy-and-us-department-energy-announces>.

③ Chen Wai-Fah and Duan Lian, *Bridge Engineering Handbook*, FL: CRC Press, 2014, p. 263.

的物理客体所构成的物理世界。^① 在美国著名科学家、有着“现代计算机之父”之称的冯·诺伊曼（John Von Neumann）看来，这两个物理世界具有截然不同的特性，经典世界中物理客体每个时刻的状态和物理量都是确定的，但量子世界物理客体的状态和物理量都是不确定的，而概率性是量子物理世界不同于经典物理世界的根本特征。^② 因此量子信息技术更为先进。除此之外，量子信息技术的优势还体现在表示单位上。在传统的信息科学领域，比特是最小的表示单位，用来对应 0 和 1 两个可能的状态；但在量子信息技术中，量子比特是重要的表示单位，它是一个“旋钮”，对应着的是无穷多个状态，因此其能处理的信息量大幅增加。^③ 由于这些原因，今后在面对计算量呈指数级增长的问题时，量子信息科技可以发挥更大的作用。

另外，量子信息技术还不是一项完全属于“未来”的技术，现阶段的实际运用已经体现了其优势。一般而言，量子信息科技主要可以分为三类，分别为量子计算、量子通信和衍生出来的量子精密测量，分别可以加快计算机处理信息的速度、增强信息的安全保障能力、提高具体测量中的精度和灵敏度。比如，在量子计算领域，谷歌于 2019 年正式宣布其实现“量子霸权”，即该公司新的 53 位量子计算机处理器（Sycamore）可以在 200 秒内运行需要全球最先进的超级计算机耗时 1 万年才能完成的测试；^④ 在量子通信领域，中国第一颗量子科学实验卫星墨子号和京沪干线成功对接，为构建天地一体化的量子保密通信与科学实验体系打下了基础；在量子测量方面，北斗导航系统通过利用量子体系（如原子和光子）的量子特性或现象，突破了在经典力学框架下所能达到的测量极限，实现了精度和灵敏度更高的测量。

（一）理解量子科技的三重逻辑

与传统信息技术相比，量子信息技术的高维度特性也形成对前者的降阶

① 郭光灿：《量子信息技术研究现状与未来》，《中国科学：信息科学》2020 年第 9 期，第 121—132 页。

② John Von Neumann, *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, Princeton: Princeton University Press, 1955, p. 3.

③ Michael Nielsen and Isaac Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*, Cambridge: Cambridge University Press, 2010, p. 13.

④ Frank Arute, Kunal Arya, Ryan Babbush, et al., “Quantum Supremacy Using a Programmable Superconducting Processor,” *Nature*, Vol. 574, No. 7779, 2019, pp. 505-510.

打击。要理解这个问题，我们需要把握三重逻辑。

第一，技术的变迁逻辑。从表面上看，量子科技是一种新技术，但事实上量子技术在信息时代就已经崭露锋芒。具体而言，第一次量子技术革命之所以能够发生，其背后的技术驱动正是 20 世纪快速发展的量子物理科学。信息革命的关键驱动技术，诸如晶体管、核磁共振、高温超导材料等无一不是凭借量子规律得以发展起来的。所以，这些技术究其本质就是量子物理科学在信息革命时期的被动应用。而正是半导体的诞生，现代意义上的通用计算机才能问世，此后彻底改变人类生活的互联网才得以出现。与此同时，人们在有了精度和灵敏度更高的原子钟之后，能实现全球精确定位的卫星导航系统才得以构建起来。因而从这个维度上说，量子科学为传统信息技术的硬件诞生奠定了技术基础。

第二，技术的驱动逻辑。纵观人类文明诞生以来的历次技术革命，从蒸汽革命、电气革命到信息革命，无一不是人类主动学习和适应机器发展的过程。人类当前已经迎来了第四次技术革命，也就是智能革命时代，但是人类和机器的关系却正在发生变化。此时的机器是要来主动学习并适应人类的，而这一特性又与量子信息技术主动操纵和调控的驱动逻辑相符合。比如在试验中，人们通过量子纠缠现象发明了精准的量子调控技术，并将其应用到具体的研究之中。这种技术驱动逻辑势必使人类历史出现巨大飞跃。

第三，技术的应用逻辑。量子技术的应用逻辑主要体现在其技术的颠覆性和对未来人类科技与经济推动作用的强大推动作用上，量子信息技术将为后摩尔定律时代的算力破局开辟新的道路。众所周知，在过去的 50 年间，全球劳动生产率提升以及人均 GDP 增长的重要因素之一就是摩尔定律。为了延续这一定律，经典信息科学在以“硅晶体管”为基本器件结构的路径上越走越远。然而，这一结构的发展终将受到物理限制。尤其是现今计算机的晶体管越做越小，目前甚至将工艺水平推进到了 2nm，由此可能导致的问题是，在微观体系下，电子会发生量子的隧穿效应，不能很精准地表示 0 和 1，这也就是通常说的“摩尔定律遭遇困境”的原因。而量子信息技术则是解决该

技术难题的良方，即可以利用量子力学打破摩尔定律。^① 简言之，就是通过量子态叠加的特性进行信息的编码和读取等，而非通过硬件的叠加或者并行^②来实现算力的跃进式提升。更为重要的是，这种呈指数级爆发式增长的算力若与人工智能、脑科学、生物制药等其他科学技术相结合，将打破现阶段遇到的一系列技术瓶颈，无疑将掀起一场前所未有的全局性科技革命。

（二）量子信息技术的核心特征

量子科技的意义要放在智能革命的大背景下加以理解。智能革命是第四次工业革命和第二次量子革命的别称，其重点是对人类智能的模拟和提升。通过对未来“智能体”的构建及对人类智能的模拟，人类社会可以在更大程度上提高生产力，并逐步形成人类与“智能体”充分互动的行为模式和关系结构。^③ 在此背景下，作为未来智能技术的一个重要突破口，以精确观测和调控微观粒子系统，利用叠加态和纠缠态等独特量子力学为主要技术特征的量子信息科技若能得到发展，无疑将极大改变人类获取、传输和处理信息的方式以及提升其能力，为未来社会的演进和发展提供强劲动力。与此同时，量子科技也能为我们理解未来社会提供支撑。就像牛顿力学奠定了经典科学的基础一样，相对论力学和量子力学则是构成现代世界图景的基础。^④ 但事实上，对于整个人类群体而言，量子理论以及它的改进形式量子力学的发展，可能是一场更为重要的革命。^⑤ 事实上，这一革命与其说是一场科学和技术的革命，不如说是意义更为深远的认知革命。受限于种种因素，这一巨大变革在信息革命中并未有很好的体现。但在智能革命时期，凭借着新一代量子科技的赋能，人类的认知能力有望突破自身生理限制，对于更加微观和宏观的世界有更深层次的认识，比如对人类基因变异、人类大脑智慧形成以及外

^① M. Mitchell Waldrop, “The Chips Are Down for Moore’s Law,” *Nature*, Vol. 530, No. 7589, 2016, pp. 144-147.

^② 此处的“并行”指的是多个硬件并排运行，其意并非硬件的简单叠加，通常表现形式是并行运算。

^③ 参见高奇琦：《智能革命与国家治理现代化初探》，《中国社会科学》2020年第7期，第82页。

^④ [荷]戴克斯特霍伊斯：《世界图景的机械化》，张卜天译，商务印书馆2018年版，第716页。

^⑤ [美]伯拉德·科恩：《科学中的革命》，鲁旭东等译，商务印书馆2017年版，第589页。

星文明等重大问题可能取得突破性成果。量子信息技术具有两个核心特征。

第一，其蕴含的认知范式演进具有颠覆性。正如托马斯·库恩(Thomas S.Kuhn)在《科学革命的结构》一书中所说，科学家从一个危机的范式，转变到一个能产生新范式的常规科学，不是通过对旧范式的修改或推理而来，而是在一个新基础上重建研究领域的过程。^①而现今，这一新基础无疑会是量子科学。如果说经典科学与技术成就所描绘的机械性世界图景是以客观、精准、机械、联系、量化的可描述数学模型为标志特征的话，那么量子科学将打破这一经典范式，概率、叠加和观测构成了量子范式的三大要素。概率是指在亚原子层次上量子变化的发生是跳跃式的，而非连续的，故其发生只有概率大小，而非客观确定。^②叠加则是指量子世界是“复数”的，在我们选择之前的选项是无限且富有变化的。同时，每次选择又为下一次选择提供了无穷多的选项。^③量子观测的内涵是指其呈现状态取决于观测者自身，即所谓的不确定定理。^④

第二，该技术的兼容适配性较强，可与其他学科和技术的应用有机结合。首先，就本质而言，量子科技本身就是学科间相互交融的产物，故其具有很强的通用和适配性。其次，在科研层面上，量子科技亦是如此，它可能与化工、能源、材料、生物制药、脑科学、人工智能等诸多学科领域相结合，打破目前相关学科发展过程中所遇到的诸多壁垒，进而变成推动未来科技创新的强大动力。再次，在具体的落地应用上，量子业已被成熟运用到新药开发、破解加密算法等领域。目前，受限于经典计算机的算力，医药等领域的新品性状测试依然需要通过反复试验才能够获得，费时费力。而量子信息技术擅长模拟分子特性，故其有望通过计算机数字形式直接帮助人类获得大型分子性状，极大缩短理论验证时间。

① [美]托马斯·库恩：《科学革命的结构》，金吾伦、胡新和译，北京大学出版社2003年版，第78页。

② Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science*, New York: Harper and Row Publishers, 1958, p. 54.

③ Paul Dirac, *The Principles of Quantum Mechanics (2nd ed.)*, Oxford: Clarendon Press, 1947, p. 12.

④ John von Neumann and Nicholas A Wheeler. eds., *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics. New Edition*. Translated by Robert T. Beyer, Princeton: Princeton University Press, 2018, p. § V.1.

总之，量子科技之于智能革命具有双重含义。首先，量子科技是助推智能革命的重要引擎。从技术上说，现阶段的智能科学还只是弱人工智能，未来智能社会需要的智能是更高层次的人工智能，也就是所谓的强人工智能。而要突破目前弱人工智能的现状，实现向强人工智能的转变，关键条件之一就是实现算力的跃升。但由于摩尔定律的存在，经典信息技术的发展已遇到瓶颈。在此背景下，基于量子自身特性发展的量子科技是一个重要的突破口，能够在减少能耗的基础上，赋予智能技术发展急需的爆炸式算力，继而推动整个智能社会的形成。其次，量子科技还促进了认知变革。一方面，传统科学的物理认知基础为宏观世界，而量子科学则截然相反，主要研究微观物质世界中的粒子运动规律。其认知基础为微观世界，这无疑是重要的进步。另一方面，相较于传统科学的确定性特征，量子自身的概率性、不确定性等对人类认知世界打开了又一扇大门。

二、量子科技的领域性介入：军事变革及其对国际安全的影响

当前，量子信息技术对于国际政治博弈最直接的影响在于军事领域。这是由于在当前大国博弈的大背景下，技术博弈已经成为国际政治博弈中最重要的方式。而技术的最直接用途就是保障自身的军事安全，量子信息技术尤为如此。这一技术的最大特点在于其能掀起军事领域的巨大变革，进而给国际安全领域带来新的秩序变革。换言之，该技术会加剧现今世界各国的安全困境。^① 特别是对于其他国家而言，一方面，量子信息技术驱动的智能军事变革会使其与大国间的军事智能鸿沟越拉越大；另一方面，大国在第二次量子革命中的领先地位又使其面临恶化的生存情况，国家安全战略的首要问题会变成生存与安全问题。^② 要理解这一点，我们必须从量子科技在军事领域的介入着手，从其军事装备领域的应用、促成的战场形态变革以及引发的

① 在国际关系的相关理论中，安全困境一般指的是民族国家间在安全方面互不信任、互相惧怕引发的安全信任危机。具体参见[美]小约瑟夫·奈：《理解国际冲突：理论与历史》，张小明译，上海人民出版社2002年版，第23页。

② Francis Hinsley, *Power and the Pursuit of Peace: Theory and Practice in the History of Relations between States*, Cambridge: Cambridge University Press, 1963, pp. 50-51.

战争理念变化三方面描述该技术将会引发的巨大军事变革。

（一）量子科技在军事装备领域的介入

目前的量子信息技术主要通过技术融合的方式介入军事装备领域的升级，主要包括三方面的技术协同。

第一，军事大数据与量子技术之间的相互融合与协同。在具体实践中，军事大数据是对抗环境下的数据，所以其数据质量差，价值密度低，通常具有不确定性、不完全性和虚假欺骗性。此外，军事行动的特点是“人在回路中”^①，即人的活动很难用大数据经典方法学习、预测。这就使得军事大数据在应对小样本数据学习、不完全及不确定信息下的博弈、复杂环境下的场景建模与理解等问题方面，要比普通意义上的大数据应用更加困难。而量子信息技术却能解决这一难题。凭借着量子传感、量子定位、量子通信和量子计算技术，战场数据的收集会更加精确、可靠和及时，自动化作战系统对于即时场景数据的处理和应对效率亦将会获得很大提升。

第二，军事人工智能技术与量子科技的融合。2021年5月21日，俄罗斯国防部长绍伊古在俄罗斯红星电视台播出的一档节目中表示，俄罗斯已经开始批量生产能够独立作战的人工智能机器人。^②可以想象的是，这只是一个开始，军事人工智能技术将会在未来大行其道，但此类军事应用主要有三重风险。第一重风险是人工智能武器不能及时自主处理战场上的突发情况。目前的人工智能多为弱人工智能，在解决可编程范围外的战争问题时，往往欠缺人类在战场中应有的理性判断评估、分析决策、随机应变和分辨道德的能力。第二重风险则是安全方面的风险。在军事对抗环境下，运用人工智能技术的作战系统或武器装备一旦被敌人利用恶意代码植入病毒、篡改指令等方式攻击后，将极易导致失利甚至灾难性后果。第三重风险为法律风险。比如，战场机器人可能因无法区分军人与平民而造成滥杀无辜，进而对区别性原则构成挑战。^③而这三重风险在量子技术的赋能后，可以得到很好的解决。

^① James R. Buck, “Man-in-the-loop Simulation,” *Simulation*, Vol. 30, No. 5, 1978, pp. 137-144.

^② 《俄防长：俄开始量产能独立作战的机器人》，中国新闻网，2021年5月22日，<http://www.chinanews.com/gj/2021/05-22/9483021.shtml>。

^③ 龙坤、朱启超：《美军人工智能研发与应用动向》，《世界知识》2018年第18期，

比如，目前人工智能装备欠缺及时处理编程范围之外的战争问题的能力，其根本原因在于现有经典计算机缺少巨量复杂数据的储存和处理能力，故其对战争情况的模拟不够充分。但量子计算则可以赋予智能系统巨大的算力和数据储存能力。至于安全和法律风险，量子加密技术和定位技术亦能予以解决。

第三，空间技术与量子技术的相互交叉。在空间技术中，航天遥感技术又是发展的重点。这是因为该技术的优点在于其侦察范围广、并且不受地理条件限制，不仅发现目标快，而且能同时获取采用其他途径难以得到的军事情报。然而，这类技术却存在两个致命缺陷。一是现有的伪装技术，无论是隐藏战场上坦克或士兵的简单烟幕弹，还是隐形战机或隐形军舰上的高科技雷达吸收材料，都可能对卫星侦查的结果造成不小的干扰并形成较大偏差。二是随着空间技术的发展，卫星在传输信息时极易受到外部其他武器的干扰或攻击，进而导致侦查信息在返回地面系统时出现失真等现象。而量子技术就可以解决这一问题。在量子密钥分发技术的推动下，天基量子传感器无疑将颠覆现有的卫星传感模式，成为未来战场中情报、监视、侦查架构中的关键部分。

由于量子科技的赋能，困扰军事人工智能的算力和装备小型化的问题将得以解决。在未来战场中，无人机器人、作战机器人等自主智能武器的运用也会变成战争的常规模式。为了充分发挥智能作战系统能力，集中编配自主智能机器可能更符合作战需求，即以智能化无人系统为主体或核心的部队很可能最终会成为专业化部队。此外，战斗人员与智能武器系统之间的比例将出现历史性逆转。与此同时，在未来，为了充分发挥智能武器的装备优势，军队很可能主动打破现有制度机制，并围绕充分发挥智能化武器优势这一目的，构建出一套新的军事制度机制。

（二）量子信息技术与战场形态的变革

科技的进步和武器装备的更新升级是推动战争形态发生转变的重要原因。量子信息技术亦不例外。其在军事领域的大规模应用势必极大重塑未来的战场形态。

第一，此轮军事技术的重大进步将极大地开拓战争的疆界，促使未来战争的战场由物理域拓展至认知域，进而呈现全域特征。正如美国“星球大战”计划的倡导者格雷厄姆（Daniel O. Graham）在《高边疆——新的国家战略》中所言，“在整个人类历史上，凡是能够最有效地从人类活动的一个领域迈向另一个领域的国家，都取得了巨大的战略优势”^①。量子技术的发展亦不例外。简言之，人类进行战争的空间将因量子技术进一步扩展，从陆地、海洋、天空等传统物质空间向虚拟空间、网络空间、生物空间等微观空间乃至认知领域演进。未来战场将没有传统战争中前方、后方的概念，其空间将会呈现全域、全范围的特征。^②

第二，量子信息技术将重塑战场对抗的内涵和外延。如果说信息战是基于信息的武器平台对抗，那么智能战就是联合作战体系之间的对抗。得益于量子信息技术的应用，联合作战体系的搭建将成为可能，而拥有体系优势的一方也将在对抗中占据优势。此外，未来战场的对抗还将呈现综合性的特征，即未来战场对抗会是混合战争力量在全域中的总体对抗，它将既是政治目的支配下的军事对抗，也是经济、文化领域支撑下的综合国力对抗，同时还是科技手段支撑下的战略互联网、战争潜力网与战场军事网的综合性对抗。^③

（三）量子信息技术与战争理念的发展

如果说信息技术开启了第三次工业革命的大门，推动了现代军队从机械化迈向信息化的军事革命，使战争形态和样式由机械化向信息化演变，那么量子技术的意义在于该技术很可能引起战争基因的突变，深刻改变未来战争的取胜之钥，促进战争形态由信息化向智能化转变。如果依据人类智能划分，未来的作战样式可分为两部分，其一是传统军事策略的延续，即人类自古以来战争智慧的结晶；其二是量子科技驱动的智能技术，即人类智能在技术层面的延伸。

第一，今后战场的作战样式将发生重大改变。首先，坚持以人为主导的

① [美]丹尼尔·奥格雷厄姆：《高边疆——新的国家战略》，张健志等译，军事科学出版社1988年版，第5页。

② 肖天亮：《新一轮世界军事革命发展趋向》，《前线》2019年第10期，第34页。

③ 戚建国：《把握战争形态演变的时代特征》，《解放军报》2020年1月6日，第7版。

人、机协同作战将成为主流。未来战场将是一个复杂系统，即一个既包含人类群体又涵盖智能量子机器集群的大系统。在这个系统中，人、机之间进行的将不仅是简单的个体交互，还包括了人、机协同的群体智慧决策。而要以人为主体，则是因为决定战争成败的关键因素仍掌握在人手中，像无人机蜂群这样的智能无人机器只具有工具价值。因此，未来以人为主导的人、机协同作战会是作战样式的最优解。其次，通过降阶打击来实现全域控制将是未来战争的常用作战样式。此处的降阶打击，指的是依托量子军事计算、量子军事雷达等关键性武器装备的高阶优势，采用相应的战术战略，从一个高阶的角度打击敌方的低阶武器装备或军事力量体系，进而在战争中获得颠覆性和非对称性的胜利。全域控制则要从未来战争的全域性来予以理解。在量子技术推动下，未来战场将不再局限于海、陆、空三个领域，而是一个包括网络、生物、智能和纳米等领域在内的全域空间。要想在这一战场取胜，完成对战场全域的控制才能确保获得战争胜利的天平彻底倒向自己。其关键又在利用技术的位阶优势，即先利用高阶技术抢占某一时、某一阶的位阶优势，再将位阶优势转化为域位控制，积局域控制为全域控制，以实现作战胜利。再次，以战争算法为依托，作战云脑为核心的智能数据作战将是未来战场的新特征。随着量子科技与人工智能技术的结合，战场模拟仿真开始进入算法时代。简单来说，战争算法就是一种利用算法完整描述战场问题并进行模拟的手段。就具体实践而言，战争算法可以大幅减少战争期间观察、判断的时间，大幅提高数据的挖掘和利用效率，减少战场态势感知的不确定性。如果说战争算法主要用于模拟战场的话，那么作战云脑则主要负责形成智能化的战场决策，即作为未来战争智能指挥系统的核心而存在。^① 未来在量子科技的赋能下，作战云脑可通过图像和语音识别、自然语言处理等手段进行先期的战场情报预处理，再通过知识图谱和人工介入的手段，实现军事情报的智能分析，最后再通过人机交互协同，实现快速且智能的战场决策。

第二，未来战争的作战思维也将智能化转变。当前军事领域的变革业已引发未来作战样式的智能化嬗变，而作战思维又与之密切相关，所以未来战

^① 朱雪玲：《大脑作战：未来战场新样式》，《解放军报》2015年7月2日，第7版。

争中的智能思维在作战中将至关重要，并将驱动军事理论的创新。首先，此处的智能思维，指的是一种基于对智能化技术进行科学认知的思维模式。但值得注意的是，此时的智能化技术得到了进一步的发展。这里的智能概念已不是目前的弱智能，而是一个包含仿生智能、机器智能、群体智能、人机混合智能等在内的多类型智能体集合。因此，此处的智能概念从内涵到外延都被赋予了全新的价值和意义。而智能思维正是对这些新价值和意义的认识，是一种适应科技进步与时代发展的重要思维模式。而任何创新都必须符合时代的大背景，具体到作战理论中亦是如此。其次，智能思维的内涵包括了“以智取胜”的制胜机理。以智取胜，也就是智能制胜，主要有双重含义。一是依靠武器装备的智能化获胜，就是以智能化作战为重点，凭借智能化武器系统打造一个特有的智能化作战模式。二是依靠“智”在认知战场获胜。由于量子科技的发展，未来战争和战场将会进一步拓宽，认知战场也将涵盖其中。在未来战争中，战场对抗将转向心理、认知和智慧层面的对抗，故以“智”制服又是关键，即要针对瓦解心理、扰乱思维、瘫痪意志的软杀伤特性，进行以制智为目标的智能认知对抗。

三、系统性影响：科技军备竞赛与全球政治秩序嬗变

如爱德华·卡尔（Edward H. Carr）所言，军事力量具有重大的意义，主因是国际关系中实现或获得权力的最终手段是战争。国家的每个行为都是为了战争，战争也是作为最后手段使用的武器。^①因此，深度介入军事领域的量子信息技术势必带来新一轮的军备竞赛。由于这场军事竞赛是围绕争夺智能时代军事制高点进行的，所以其本身就具有重大的国际政治权势效应。

对于美国而言，为了维持其世界霸主地位需要持续加大量子技术方面的科研军事投入，全方面推动智能时代的军事变革，巩固自身优势，确保在量子科技领域的领先地位，为自身领导的世界秩序提供安全保障。对于中、德、

^① [英]爱德华·卡尔：《20年危机（1919—1939）国际关系导论》，秦亚青译，世界知识出版社2005年版，第103页。

法、英、日、俄而言，大力发展量子技术的意义在于缩小与美国之间的差距，以使自身在智能时代的全球政治格局中依旧占据一席之地。对于后发国家而言，量子科技的重要性在于可借此适应国际政治的丛林法则，尽快实现军事力量的智能化转型，缩小与领先国家之间的代差，以避免陷入被威胁的境地。

（一）新一轮量子军备竞赛已经开启

就各自的量子信息技术发展战略而言，美国、欧盟、英国和日本有着各自的特点。作为最早将量子信息技术列入国家战略、国防和安全研发计划的国家，美国主要通过立法来保障量子科技的发展。尤其是近三年来，美国不断推出有关量子信息技术发展的法案。欧盟的战略重心则在于关注量子信息技术对国家安全、经济发展等方面的影响。2018年10月，欧盟理事会正式启动量子技术旗舰计划，主要开展量子信息技术方面的研究，旨在为欧洲建设一个量子网络，用于连接量子计算机、模拟器与传感器。^① 英国则不同，主要重视量子科技的基础科学研究，同时基础研究和商业研究并重。在《国家量子技术战略》（National Strategy for Quantum Technologies）和《英国量子技术路线图》（A Roadmap for Quantum Technologies in the UK）中，英国提出要逐步将量子系统组件、量子通信、量子传感器、量子原子钟、量子增强影像等一大批量子信息技术实现商业化应用，并在20年内实现量子计算商业化的目标。^② 日本则是根据自己的长处，将目标锁定在量子信息处理（量子模拟、量子计算机等）、量子测量和传感器、下一代激光技术三个方向，有的放矢地发展量子技术，以便利用其解决重要经济和社会问题。^③

值得注意的是，美国、欧盟、英国和日本都侧重于发展量子计算技术。具体而言，在量子计算领域，欧盟、日本的3年或5年短期目标关注于提升量子比特的容错性以及开发数十位量子比特的处理器，中期目标是开发量子

^① European Commission, “Quantum Technologies Flagship Kicks off with First 20 Projects,” June 2018, http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-6205_en.htm.

^② 中国科学院科技战略咨询研究院：《英国和德国大力推动量子技术研发》，中国科学院科技战略咨询研究院（CASISD）网站，2019年1月11日，http://www.casisd.cn/zkcg/ydkb/kjqykb/2019/kjqykb201901/201901/t20190111_5228057.html。

^③ 中国科学院科技战略咨询研究院（CASISD）：《日本文部科学省发布量子飞跃旗舰计划》，中国科学院科技战略咨询研究院（CASISD）网站，2018年6月12日，http://www.casisd.cn/zkcg/ydkb/kjqykb/2018/201806/201806/t20180612_5025170.html。

计算机原型；美国、欧盟、英国、日本的10年或更长期目标均是制造出实际可用的量子计算机，并开展应用验证及云计算服务等。尤其是自2020年以来，美国和欧盟日益注重量子互联网相关的规划。例如，欧盟在《量子旗舰计划》（European Quantum Flagship）下设立量子互联网联盟（QIA）项目，计划在荷兰建立首个四节点量子信息实验网（Four-party Experimental Quantum Network）。^① 2020年7月，美国能源部又公布了一份关于量子互联网发展战略蓝图的报告，对量子互联网发展进行了规划。^② 同年10月，美国国会提出《量子网络基础设施法案》（Quantum Network Infrastructure Act），推进量子网络基础设施建设并加速量子技术实施应用。^③

（二）全球量子科技的竞争格局已初步形成

从美国、欧盟、英国、日本等国家或地区的战略布局看，量子信息技术的地位正不断上升，这反映出世界各国和地区愈加重视量子技术对于国家或地区战略利益和战略安全的影响。因此，传统强国和处于地缘热点的国家或地区掀起了一场以争夺“量子霸权”为目标、大力发展量子信息技术为重点的量子军备竞赛，而这也导致新的国际秩序变化的产生。具体而言，一部分国家由于科技基础雄厚等原因，已经在量子科技领域取得了一系列突破，量子信息技术发展不平衡的现象也开始出现。从量子信息技术的基础理论研究、实践应用的先进性、自主研发的能力以及国家的科研基础等方面综合考察，全球量子科技的竞争格局业已初步形成。

第一，美国处于全球领先地位。就总体而言，美国涉及的量子科技领域最全面，综合实力也最强。尤其在量子计算机领域，美国持续加大投入，目前已初步形成了政府、科研机构、产业和投资力量多方协同的科技创新体制，并建立了在技术研究、样机研制和应用探索等方面的全面领先态势。首先，

^① European Quantum Flagship, “Strategic Research Agenda,” March 2020, https://qt.eu/app/uploads/2020/04/Strategic_Research_Agenda_d_FINAL.pdf.

^② U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information, “From Long-distance Entanglement to Building a Nationwide Quantum Internet: Report of the DOE Quantum Internet Blueprint Workshop,” February 2020, <https://www.osti.gov/biblio/1638794>.

^③ 115th Congress, “To Establish and Support a Quantum Network in Infrastructure Research and Development Program at the Department of Energy and For Other Purposes,” September 2020, https://zeldin.house.gov/sites/zeldin.house.gov/files/Quantum_01_xml.pdf.

就量子计算机领域的专利和论文发表情况而言，美国占据绝对优势。根据相关统计，在全球量子计算技术发明专利前 20 位的企业中，美国企业占比接近 50%，远超第二名日本。^① 在论文发表方面，据中国信息通信研究院 2020 年 10 月统计，美国科研机构和相关企业的论文数量超过 8 000 篇，位列第一，中国紧随其后超过 4 000 篇。^② 其次，谷歌、微软、IBM 等美国最具代表性的科技巨头也积极加入量子计算机技术的研发和应用实践中，并取得了一系列巨大的进展和突破。特别是谷歌和 IBM，这两家公司在全球量子计算领域中处于领先地位，其中谷歌的主要优势在于量子机器学习算法和率先实现“量子霸权”^③。IBM 在上下游、软硬件、技术积累和投资额度上都十分突出，在量子云计算和量子计算机的硬件研发和应用上一直处于世界领先。与此同时，美国科技巨头还自发成立了产业联盟，以进一步推动量子技术的发展。如 IBM 发起成立量子计算联盟（Q Network）推进行业合作，其特点是除用户和科研机构外，主要成员为软件公司，基本不与硬件公司合作。而微软则截然相反，成立“微软量子网络”（Microsoft Quantum Network）和“西北量子联盟”（Northwest Quantum Nexus）的主要目的就是为了弥补缺乏自主量子计算硬件的劣势，其联盟中包含了数家量子硬件公司，比如离子 Q（IonQ）、霍尼韦尔（Honeywell）等。再次，初创企业也是美国量子信息技术产业发展中不可或缺的力量。当前美国的初创量子科技企业共有数十家，涵盖了软硬件、基础配套及上层应用各个环节。比如雷杰蒂（Rigetti）拥有美国唯一专门的量子硬件快速原型设计厂，提供自由试验和快速迭代；离子 Q 在离子阱方向具有领先地位（另一领先者为高达 64 量子体积^④的霍尼韦尔），而离子阱技术路径相比超导可能更具长远的未来前景（读、写效

① 中国信息通信研究院：《量子信息技术发展与应用研究报告（2019）》，2019 年 12 月 15 日，<http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/201912/P020191226517744813705.pdf>。

② 中国信息通信研究院：《量子信息技术发展与应用研究报告（2020）》，2020 年 12 月 15 日，<http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202012/P020201215373063374434.pdf>。

③ 量子霸权，是指量子计算装置在特定测试案例上表现出超越所有经典计算机的计算能力。实现量子霸权，将代表超越经典的量子计算能力从理论走进实验，标志着一个新的计算能力飞跃时代的开始。

④ 量子体积，是 IBM 提出的一个专用性能指标，用于测量量子计算机的强大程度。简言之，量子体积越大，计算机能够解决的问题就越复杂。而此处提到的 64 量子体积，是迄今为止最大的量子体积。

率高、相干^①时间长、所需温度环境更宽容)；量子回路公司(Quantum Circuits)的竞争优势是其模块化量子计算机将集成量子纠错算法，提高硬件效率降低冗余度，同时降低了单个芯片的成本。尤其值得注意的是，在这些初创企业的背后，或多或少都有诸如洛克希德·马丁、雷神、波音等军火公司的影子。

第二，中国也是目前唯一在量子信息科技可与美国相抗衡的国家，但相比美国，中国的优势主要集中在量子通信领域。在该领域，中国已经走在了世界最前沿。无论是论文、专利还是建设的相关项目，都是其他国家不可比拟的。就科研而言，中国已经形成了潘建伟、郭光灿等高水平创新团队。就相关企业而言，也涌现出一批掌握领先技术的高科技公司，如2020年7月在科创板上市的科大国盾量子技术股份有限公司等。就具体实践而言，中国发射了全球第一颗量子科学实验卫星墨子号，并研制了全球首个可移动量子卫星地面站与其成功对接，中国由此完成了星、地一体的网络构建。

值得一提的是，中国还独创了一个新产业——量子保密通信，并实现了相关核心部件的自主供给，其中多项核心技术研究也领先全球。2017年9月，中国开通了全球第一条量子保密通信干线。而在2020年9月，由清华大学教授龙桂鲁团队研发的国际上第一台具有实用价值的量子通信样机也正式面世。与样机配套的还有量子保密数据链通信终端、量子保密数据链存储终端、量子多网会议系统等产品。与此同时，量子保密通信骨干网络也正处于建设过程中。2021年1月，潘建伟团队及其合作者又在量子通信方面首次展现了一个完整的天、地一体化量子通信网络，其综合通信链路距离长达4600公里。^②

第三，英、德、日、法、加、意六国在第二次量子革命的浪潮中，主要凭借其在某一具体细分领域中的技术领先优势，在量子信息技术的发展中占

① 离子阱系统优势之一就是较长的相干时间。其中，相干时间直接限制了量子计算机可以连续进行量子操作的最大次数，同时也是实现高保真度量子操作的前提条件。除量子计算外，相干时间对量子通讯以及量子精密测量领域也都具有重大意义。

② Chen Yu-Ao, Zhang Qiang, Chen Teng-Yun, et al., "An Integrated Space-to-Ground Quantum Communication Network Over 4,600 Kilometers," *Nature*, Vol. 589, No. 7841, 2021, pp. 214-219.

据了一席之地。首先，英国在量子机器学习领域居于全球领先地位。其中代表性企业有河道（Riverlane）、拉赫科（Rahko）、计提恩（GTN）等。拉赫科是世界最先进的量子机器学习公司之一，计提恩则主要利用量子机器学习技术改变药物研发。德国在基础理论和科研层面处于世界顶尖水平，比如弗劳恩霍夫应用光学和精密机械研究所（Fraunhofer IOF）就宣告他们在量子通信和显微镜领域取得了领先成就。^① 日本的优势则在于其雄厚的半导体基础和材料科研基础，故在量子计算机、量子互联网等领域颇具优势。此外，2020年的4月13日，日本相关企业和研究所组建了名为量子实践应用研究联盟（QPARC）的攻关项目，其中发挥主导作用的是库纳萨艾斯公司（QunaSys）。它们打算将日本的材料优势与量子科技相结合，创造革新性材料并缩短开发周期，另辟蹊径赶超其他国家。^② 其次，在法、加、意三国中，加拿大的实力最为雄厚，尤其在量子计算机、量子互联网领域，其水平世界领先。在量子计算机领域，加拿大最知名的公司是迪瓦乌（D-Wave）。目前为止，该公司是世界上最成功的商业量子计算企业。而在量子互联网领域，上都公司（Xanadu）更是颇具盛名，目前正与加拿大初创企业孵化器及创造性破坏实验室合作创建加拿大第一个量子网络（CQN）。^③ 法国的量子信息技术发展虽谈不上迅猛，但也取得了诸多成果。比如，法国索邦大学（Sorbonne University）联合欧洲其他7个大学组成的量子研究团队用一组仅2.5厘米长的铯原子阵列，使量子存储器的存储和检索效率达到创纪录水平，向未来建立跨越洲际的大规模量子通信网络迈出关键一步。^④ 意大利则是在光纤量子通信干线建设方面处于世界前列地位。目前，该国已经启动了

① Loukia Papadopoulos, “Fraunhofer IOF to Revolutionize Quantum Communications and Microscopy,” January 2021, <https://interestingengineering.com/fraunhofer-iof-to-revolutionize-quantum-communications-and-microscopy>.

② QunaSys, “QunaSys launch of Quantum Practical Application Research Community (QPARC),” April 13, 2020, <https://en.qunasys.com/news/qparc>.

③ Xanadu, “Xanadu Announces Canada's First Quantum Network Designed for Innovation and Collaboration,” November 24, 2020, <https://www.newswire.ca/news-releases/xanadu-announces-canada-s-first-quantum-network-designed-for-innovation-and-collaboration-878700962.html>.

④ Pierre-Olivier Burdin, “The Université Côte d'Azur will participate in the Quantum Plan of France,” Vendredi 22 janvier 2021, https://tribuca.net/societe_82529561-l-universite-cote-d-azur-participera-au-plan-quantique-de-la-france.

总长约 1 700 公里的连接弗雷瑞斯 (Frejus) 和马泰拉 (Matera) 的量子通信骨干网建设计划。^①

因此,虽然目前量子信息技术领域的发展还有很大的空间,但世界量子信息技术的发展格局已初步形成,各国之间的量子技术鸿沟也已凸显。正如杰弗里·赫雷拉 (Geoffrey Herrera) 所言,技术进步不仅影响着国内变革,而且也是影响国际体系的重要因素。^②

(三) 国际政治秩序的重新调整

量子技术鸿沟势必也会影响国际政治秩序的重塑。此次国际政治秩序的重新调整,主要包括两方面内容。

第一,量子信息技术发展的不平衡必然导致国际战略实力对比的不平衡,进而引发不同国家政治博弈优劣势的变换。一般而言,技术变革总是与国际格局变化同步发生,此次亦不例外。倘若某一国家在量子信息技术上取得重大突破,并将其运用于武器装备、军事理念、军事编制等变革中,就能使其成为真正意义上的超级军事强国。而军事实力的提升又会为其提供重要的物质技术支撑,国际政治的地位也将因此急剧上升,进而在相关博弈中占据优势乃至主导地位。值得注意的是,此次技术发展的不平衡会使大国与其他国家的智能鸿沟更趋扩大,民粹和宗教极端主义或将进一步抬头,甚至可能衍生一种新的仇恨型恐怖主义,而这种恐怖主义的直接原因就在于国际战略对比的严重失调及相关国家自身智能化进程的滞后。

第二,尤其重要的是量子信息技术在军事领域的介入或加速世界政治秩序的变革,但整个世界和平也将面临巨大考验。当前,美国主导的政治秩序正面临着巨大的危机。一方面,美国“一家独大”的全球治理体系更加撕裂甚至走向崩溃;另一方面,后疫情时代全球治理体系失灵,加上单边主义、民族主义、民粹主义、极端主义和贸易保护主义等日渐盛行,地缘政治摩擦与矛盾可能会越来越多。正因为如此,科技力量很可能会成为美国维护世界

^① Fisica, “E’ Made in Italy la Prima Comunicazione quantistica Via Satellite,” Giugno 2015, <https://sciencecue.it/comunicazione-quantistica-made-in-italy-satellite/6037/>.

^② Geoffrey Herrera, *Technology and International Transformation: the Railroad, the Atom Bomb, and the Politics of Technological Change*, New York: State University of New York Press, 2006.

霸权的重要手段。而如今在量子信息技术领域，美国仍处于领跑地位。若美国的量子科技不受其他外部权力的约束，将能够在国际博弈中实现降阶打击，世界局势也会随之动荡不安。在此背景下，作为量子科技的领先国家，也是唯一可以在量子科技领域与美国较量的国家，中国既有能力也有义务平衡全球量子科技的力量，避免出现美国量子信息技术一家独大引发新的军备竞赛和安全危机，以便使量子科技这一新技术应用于更广泛的领域，进而给人类社会带来更深层的变革。

四、中美战略竞争与全球治理的未来格局

当前，第二次量子革命和产业变革正与中美新一轮博弈交织发展。因此，作为这轮变革中最具代表性的技术之一，量子信息技术不仅将给中美博弈带来深远变革，还将以此对全球秩序的稳定带来新的挑战。

目前，在中美科技博弈层面，美国在 5G、半导体和人工智能领域已初步形成了体系化、结构化、精细化的战略框架。但在量子信息技术层面，美国的战略虽已在多个法案中有所提及，却尚未有具体的措施落实。可以肯定的是，量子信息技术会是中美科技博弈的另一个前沿领域。其原因主要基于两个层次：一是就现实政治因素而言，美国在科技领域遏制中国的发展业已成为美国精英阶层的共识；二是就全球的技术演进逻辑而言，量子信息技术会是未来竞争的关键所在。作为引领下一个时代的技术，谁能掌握量子信息技术的控制权，谁就可以在竞争中取得优势。但相比其他领域，量子信息技术的竞争会是一场持久战。这一方面是因为两国在此领域各有优势且差距不大，另一方面在于量子信息领域的突破性技术诞生及应用仍需时间，并且存在着很大的不确定性。

（一）量子信息技术亟须纳入全球治理范畴

在全球治理层面，作为一种新型技术，目前的全球治理框架并不能很好地解决该类技术的治理问题。量子信息技术亟须纳入全球治理的范畴，原因主要有三个方面。

第一，量子信息技术既是一项颠覆性的技术，更是一项“大科学”^①。之所以认为该技术极具颠覆性，一方面在于其原理的颠覆性，另一方面在于其应用在各个不同的领域都能带来颠覆性影响。大科学则是指该技术是一项全人类的技术，也是人类迈入智能社会的关键之所在。与此同时，当今量子信息技术发展都是以各自为战的方式进行的，某些国家因此将量子信息技术当作一项独有技术，并将该技术仅用于军事目的，以获得在国际政治博弈中的优势地位，那无疑是对量子信息技术的误解和错用。换言之，作为第二次量子革命的重要驱动力，量子信息技术应以全人类的福祉为目标，全方位、多层次推动人类走向智能社会。

第二，量子信息技术的应用会让世界不平衡现象加剧，全球治理将面临巨大危机。在可以预见的未来，地缘政治竞争将越来越多地由经济和技术力量定义。有能力在量子信息技术中设定规则和标准的国家将会在全球范围内加强和传播其政治、经济和社会价值。另外，为了应对竞争者的进步，一些国家可能会通过限制性移民政策和出口政策来阻止量子信息技术的扩散，从而保持其技术优势。这无疑会使强者更强、弱者愈弱的现象成为常态，由此带来的“科技保护主义”“科技民族主义”将成为全球化的最大挑战与阻力，整个世界也会随之进一步分裂，逆全球化和民粹主义浪潮将会进一步兴起，全球治理体系将因此受到巨大冲击。

第三，量子信息技术的发展还将导致风险管控问题的产生。新兴科技的发展在给予人类社会以巨大推动的同时，也会带来一些风险。但量子信息技术带来的风险在于其双重性，一方面量子信息技术本身就会带来巨大的风险，另一方面量子信息技术与人工智能技术的结合会导致新风险的产生。当今人工智能仍属于弱人工智能，但若获得量子信息技术赋予的巨大算力，人工智能可能会迈向类脑智能，甚至更高级别的超人工智能。随之而来的就是人工智能的行为规制和失控问题，而这一问题无疑需要全球范围内各国的深度合作和参与。

（二）中国与量子信息技术全球治理

^① Alvin Weinberg, “Impact of Large-Scale Science on the United States,” *Science*, Vol. 134, No. 3473, 1961, pp. 161-164.

对于中国而言，深度参与量子信息技术的全球合作与治理，既是时代的需求，也是实现中华民族伟大复兴的必由之路。

第一，中国作为量子信息技术领域的领先国家，既有能力也有必要深度参与量子信息技术的全球合作与治理。由于此前中国的科研实力相对较弱，所以在前三次工业革命中都未能起到引领作用或深度参与其中。但如今中国在量子信息技术发展中处于全球领先地位，因而第二次量子革命是中国几百年来第一次有能力、有基础全面介入和参与的一次技术革命。至于必要性，主要在于量子信息技术与人类的命运息息相关。全世界的量子信息技术发展需要所有国家和研究人员的共同努力。这种努力不仅包括技术的研发和测试，更包括了量子信息技术标准制定等一系列内容。中国作为在量子信息技术发展方面位居世界前列的国家，为全球量子信息技术的合作与治理贡献自己的力量是责无旁贷的。

第二，作为后发国家的代表，中国有责任代表广大发展中国家参与到量子信息技术的全球合作与治理中去。全球科技治理很长一段时间由西方发达国家主导，后发国家则一直处于弱势地位。如今以量子信息技术为主要驱动力的新科技革命方兴未艾，为后发国家实现跨越式发展提供了更多机遇。作为新兴经济体和世界最大的发展中国家，中国完全可以做出榜样，顺应时代潮流，展现大国担当，承担全球科技治理责任。因此，中国必须深度参与量子信息技术的合作与治理，加强与各方协调，推动量子信息技术的合作发展与风险管控，更好地反映发展中国家在全球前沿科技治理中的重要作用，更加平衡地反映发展中国家和发达国家的诉求。

第三，中国自身和世界的发展也要求中国深度参与全球量子科技治理。这不仅是因为发展科学技术必须具有全球视野，还在于自主创新是开放环境下的创新。以量子信息技术为首的颠覆性技术是中华民族在伟大复兴进程中的一次重大机遇。深度参与和自主创新并不矛盾。一方面，以量子信息技术为主要推动力量的第四次技术革命将使全球命运变得更加紧密；另一方面，中国的自主创新不能闭门造车，任何一个国家都不可能仅凭一己之力解决所

有的创新难题。^① 除此之外，中国参与全球量子科技治理，还可阻止美国从现实发展和规则制定等层面上获得量子科技霸权，进而使量子科技引发的军备竞赛处于可控状态，世界和平也能够得到有效保障。

（三）量子信息技术全球治理的中国方案

第一，中国应利用自身在量子信息技术中的影响力，主动推动现有全球科技治理体系改革。全球科技治理体系因长期由西方国家主导，新兴国家和发展中国家的利益未得到充分保障，其代表性、包容性与民主性不足。量子信息技术也因其技术的复杂性和颠覆性，让本就问题重重的全球科技治理与合作体系更加脆弱。因此，中国可从两个方向深度参与全球量子信息技术合作与治理。首先，中国应针对现有全球科技平台在量子信息技术治理中的盲区，积极参与建设有关量子信息技术合作与治理的新规则。比如在量子加密通信等优势领域，中国要在具体技术标准和行业规则上发挥权威性作用。在未来发展还存在很大不确定性的量子信息技术等领域，中国也应积极参与学术界、产业界以及政策界的国际交流，主动提出建设性意见。其次，中国要突出关注现有全球科技治理体系应对量子信息技术的乏力之处，改革和完善现有全球量子信息技术合作与治理的不足之处。为此，中国应基于现有的“一带一路”建设渠道或区域性协定，与其他国家就量子信息技术的合作及治理创建一系列机制和规则，进而为全球范围内的量子信息技术治理提供急需的公共产品，以弥补现有全球科技治理网络和体系的不足。

第二，中国需要提升量子科技领域国际合作的层次和水平，探索并构建与发达国家之间的互信机制。一些西方国家担心中国推动量子技术主要是为了服务于军事目的，并将其转化为地缘政治优势。但事实上，无论从政治传统还是自身实力出发，中国都不会成为如同美国那样的霸权国家。对于量子科技，中国是从全球视野出发，以该技术的具体应用为突破口，来推动人类文明的进步。因此，中国并不主张量子科技的军事化和军备竞赛，鼓励并希望加强量子科技方面国际社会的多方合作。另外，以美国为代表的西方国家国内也都存在相对理性的政治力量，如果我们能够在量子科技方面与各国密

^① 习近平：《共同构建人类命运共同体》，《习近平谈治国理政》（第二卷），外文出版社2017年版，第538页。

切合作，无疑将极大增强中国与发达国家间的技术互信，进而对今后国际社会管理冲突以及推动更深层次的全球科技合作具有重要意义。

第三，中国应主动建设量子科技全球合作与治理机构。当前有关量子信息技术的全球专业化学术组织尚较稀少，更遑论有关量子科技的全球性治理组织与机构。在具体实践中，中国应充分发挥国际知名量子科学领域专家的影响力。此外，中国还应加强量子信息技术方面的宣传工作。具体而言，中国除了要对在量子信息技术领域取得的重大成果和创新经验予以充分宣传之外，还要注重在国际社会宣传中国在量子信息技术方面的成功发展经验，以助力新兴国家以及广大发展中国家跟上量子时代的步伐。

第四，中国需深化国内科技体制改革，并加强量子科技相关基础学科和课程体系建设，加大量子科技人才的培养力度。相较于美国通过科技公司为主渠道发展量子科技的模式，中国的量子科技研发主要依靠新型举国体制，依托相关高校和科研机构，未能充分挖掘企业在此领域的创新性和活力。^①此外，中国目前的量子科技应用性还不强，商业落地还有待推进。同时，量子科技相关学科的培育和人才培养也是为了加速量子科技产业化的进程。中国虽然有很丰富的量子科学领域的顶尖科学家和青年才俊力量，但由于量子科技属于基础学科的前沿技术，研究的准入门槛较高、进展难度大，因此中国从事相关研究的专业科研人数仍较少，这一状况需要改变。与此同时，中国还应培养量子科技治理人才，鼓励复合型人才积极、主动参与全球量子科技治理体系建设的交流与合作。

结 束 语

量子信息技术是一种颠覆性的技术，其在军事领域的大范围应用势必引发一场前所未有的国际政治秩序变革。世界各国为了在国际政治博弈中占据优势，开启了新一轮的量子军备竞赛。然而，事实上的量子技术鸿沟已经形

^① 关于中美发展新兴技术的不同思路，笔者曾以区块链技术为例，指出中国发展新兴科技的深层逻辑是国家先行模式，美国则是一种企业先行的思路。具体参见高奇琦：《主权区块链与全球区块链研究》，《世界经济与政治》2020年第10期，第50—71页。

成。在此背景下,为了避免量子科技可能引发的新型军备竞赛和过度军事化,笔者提出中国要深度参与量子科技的全球治理与合作。这既是规制量子科技向民用领域发展以及普惠全人类的现实需要,也是为了平衡美国量子科技实力、避免其将该技术过度军事化,导致新的国际安全困境的必然选择。然而由于篇幅所限,笔者并未能对该想法的具体内涵和外延、实践路径等进行详细论述,这有待下一步的研究和阐释。

此外,后发国家能否进行科技创新是个饱受争议的问题,中国在量子信息技术发展上的优异表现无疑很好地回答了这个问题。中国科技奇迹的出现与自身科技创新体制密不可分。同样因篇幅所限,这一部分无法在本文展开。但是相较于西方国家依托科技巨头形成产业联盟的科技创新模式,显然中国凭借新型举国体制,依托重要科研机构进行科技创新的方式是发展中国家的重要模板。而这也是笔者提出中国应深度参与量子科技全球治理的核心出发点,即中国要贡献自身量子信息技术的发展经验与智慧结晶,提出中国方案,以促使量子信息技术发展的成果惠及新兴国家和广大发展中国家。

[责任编辑:孙震海]