

# 加拿大国家量子战略关键部署研究

李建华

(中国科学技术部, 北京 100862)

**摘要:** 量子科技在国家之间的竞争日趋激烈。加拿大部署《国家量子战略》(National Quantum Strategy, NQS), 旨在巩固其在量子科技领域的全球领导地位。在实施中, 该战略强调促进量子生态系统的发展, 重视防范长期和潜在风险, 注重各方利益均衡。中国须充分研究借鉴别国经验, 制定国家量子发展战略规划, 注重技术创新牵引, 增强产业发展能力; 以合作促开放, 融入全球量子发展生态。

**关键词:** 加拿大; 量子技术; 科技; 战略; 开放合作

**中图分类号:** G323/327; O413 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2024.03.002

量子技术处于当今科学和创新的前沿, 必将对全球未来经济科技发展产生颠覆性的影响。2023 年 1 月 13 日, 加拿大政府发布实施《国家量子战略》(National Quantum Strategy, NQS)<sup>[1]</sup>。加拿大总理特鲁多提出: 量子技术正在改变世界, 这项投资将带来良好的就业机会, 刺激经济增长, 推动创新, 并巩固加拿大在量子技术领域的世界领先地位<sup>[2]</sup>。此举标志加拿大加入美国、英国、日本、印度和以色列等国家在量子领域的竞争行列, 将对全球未来经济科技发展和国家竞争态势产生深远影响。

## 1 研究背景

加拿大发布 NQS 正值第二次量子革命迅速兴起、各国在量子领域展开布局和竞争之际。战略专家认为, 第二次量子革命将充满机遇, 但各国是否准备好利用机遇增强其全球竞争力将取决于其现在制定的战略<sup>[3]</sup>。

一般认为, 第一次量子革命始于二十世纪二三十年代, 后发展形成量子力学的理论。20 世纪 50 年代, 这些技术已经实现了晶体管制造的小型化, 进而导致电子设备尺寸的不断缩小, 以及随之而来的通信、计算、医疗保健和军事系统的进步。

这一阶段出现了半导体、激光器、数字电话和卫星全球定位系统 (GPS) 等技术。

第一次量子革命为世界提供了理解物理现实的新规则, 第二次量子革命则有望通过应用量子叠加和量子纠缠等原理控制其物理过程。目前量子技术主要有以下 3 个发展方向: (1) 量子通信, 应用量子力学创建超安全的信息系统, 以无法突破的方式传输信息并保护敏感数据; (2) 量子传感, 利用量子科学精确测量物理量, 如重力和电磁场, 并洞察物质的基本特征; (3) 量子计算, 利用量子力学执行计算和解决当前超级计算机无法完成的问题。

从目前来看, 量子技术有以下 4 个较为显著的发展趋势。

### 1.1 量子技术应用前景极为广阔

目前, 即使是世界上最强大的超级计算机也无法解决人类面临的最复杂的挑战, 但量子计算有望终结这些问题<sup>[4]</sup>。据估算, 量子技术有望在 2030 年发展成为一个价值 4.5 万亿美元的行业<sup>[5]</sup>。例如, 在工业领域, 量子技术可以通过优化生产流程、包装和供应链, 节省成本。在医学领域, 突破性治疗药物发现可以减少医疗费用, 同时提高生活质量。在农业领域, 量子科学可以帮助提高农作物产量。

在防灾领域，量子传感器可以测量环境变化并提供地震和火山爆发等危险事件的早期预警。在地质学领域，地面和空中的量子传感器将有助于发现新的矿藏。

## 1.2 量子技术在军事领域具有巨大的国防价值

量子技术一旦被犯罪分子或恐怖组织掌握很可能对国家和社会安全构成威胁。尤其值得重视的是，量子技术对地缘政治产生深远影响，其军事应用将会削弱大国的传统比较优势，加剧国家之间的数字鸿沟并扩大安全差距<sup>[6]</sup>。因此，基于战略竞争和国家安全的考虑，其研究成果应首先应用于国防领域<sup>[7]</sup>。

## 1.3 量子技术的国家竞争已经展开

美国、英国和以色列等 10 余个国家已经制定和资助国家量子战略。英国于 2023 年 3 月发布第二个《国家量子战略》，旨在到 2033 年使该国成为全球领先的量子经济体。英国政府意在使量子技术成为英国数字基础设施和制造业基地不可或缺的一部分，推动经济增长并帮助其建立繁荣的经济体系以及具有韧性的经济和社会体系。为了实现这一目标，英国政府将在未来 10 年内投资 25 亿英镑，并吸引 10 亿英镑的私人投资<sup>[8-9]</sup>。而美国则努力确保在量子信息科学领域的持续领先地位<sup>[10]</sup>，德国将在 5 年内投资 20 亿欧元，研制出具有竞争力的量子计算机<sup>[11]</sup>，荷兰建立名为 Quantum Delta NL 的创新生态系统，促进与世界顶级科研机构、企业、学生和专业人士的国际合作，努力使其成为世界领先的量子技术中心<sup>[12]</sup>。随着第二次量子革命的迅速展开，迅速发展量子战略的国家将占据一定的优势。

## 1.4 量子技术国际合作显著增强

鉴于量子技术具有高度复杂性和颠覆性，许多国家通过签订双边和多边协议开展研发合作。英国科学与技术设施理事会（STFC）与新加坡量子技术中心合作开展一项创新的小型卫星任务<sup>[13]</sup>。2021 年，法国和美国、荷兰分别签署协议，加强量子研发方面的合作<sup>[14]</sup>。2022 年，加拿大国家研究委员会将德国确定为量子技术研发的优先合作伙伴<sup>[15]</sup>。印度和以色列于 2022 年 4 月举行了双边量子技术研讨会，以启动量子技术路线图，确定未来合作的领域。2022 年 4 月，澳大利亚 - 英国 -

美国军事安全伙伴关系（AUKUS）宣布，整合三方科技力量，加快对下一代量子能力的投资，研发重点是“定位、导航和计时”技术（Positioning, Navigation and Timing），并在未来 3 年内进行试验<sup>[16]</sup>。北约创新基金（NIF）于 2022 年 6 月启动，将在今后 15 年内投资 10 亿欧元，资助初创企业研发量子技术<sup>[17]</sup>。

## 2 加拿大《国家量子战略》的主要内容

加拿大 NQS 包括序言、战略目标与战略任务、战略支撑、治理与协调、省际与国际合作等方面的内容。

### 2.1 序言：加拿大是量子技术的领导者

序言称，自 100 余年前量子科学诞生以来，量子技术一直是其他技术领域创新的源泉，包括半导体和激光等。量子技术的最新进展将推动计算、人工智能（AI）、药物和疫苗、关键矿物等领域的重大进步。未来几年，随着量子设计和量子应用能力的提高，加拿大具有通过量子技术实现颠覆性创新的巨大潜力。本次量子革命有望带来重大的经济效益。根据加拿大国家研究委员会委托进行的一项研究，到 2045 年，量子行业有望为加拿大创造 1390 亿加元的产值，提供超过 20 万个工作岗位和 420 亿加元的回报，并为本国贡献 3% 的国内生产总值（GDP）。

序言认为，多年来，加拿大联邦和省级政府对量子科学的投资处于全球领先行列。其中，2012—2022 年投资累计超过 10 亿加元。自 2002 年以来，私人投资也已向量子领域投入超过 10 亿加元。为在不断增强的国际竞争中保持领先地位并继续有效开展国际合作，加拿大必须继续加大各方面的投入。

### 2.2 战略目标与战略任务

NQS 的战略目标包括 3 个方面的内容：（1）增强加拿大在量子研究方面的实力；（2）大力开发加拿大的量子技术人才资源；（3）巩固加拿大在量子科学及其商业化领域的全球领导地位。为实现该目标，加拿大政府已承诺在今后 7 年内新增 3.6 亿加元，以支持战略计划和项目的全面落实。

为实现上述目标，将部署 3 个方面的战略任务。

任务 1：使加拿大在持续开发、部署和使用量子计算硬件和软件方面处于世界领先地位，造福加拿大。重点解决混合计算能力、量子模拟器和量子

计算机应用等关键技术问题，优化复杂问题的解决方案；启动量子计算应用挑战计划，推动商业创新；加速发展量子计算硬件、软件和算法，并培养各类专业化平台的使用技能；继续投资于加拿大量子计算机、算法、模拟器和软件的开发、测试和扩展。支持基础和应用研究，建立支撑量子计算和软件行业所需的人才库。

任务 2：通过实施国家安全量子通信网络和后量子密码学计划，确保加拿大在量子领域的隐私和网络安全。在政府、研究人员和行业之间建立合作伙伴关系；在国内和国际上建立产业 - 学术合作联盟，增强量子网络安全性和数据的完整性；推动部署后量子密码学，并努力发展一个未来可以用于保护高度敏感信息的国家量子通信网络；支持制定和实施行业标准，提高网络安全性、韧性和互操作性。

任务 3：使加拿大政府和关键行业成为新量子传感技术的开发者和早期采用者。政府将探索潜在的应用领域，并通过增加研发投入改进量子传感器的性能和设计，制定行业标准，努力使量子传感器技术在加拿大各产业得到推广；支持原型和技术演示的开发，投资于具有潜在改变基础技术的创新研究；建立量子传感器制造商与潜在终端用户之间的联系；通过采购量子传感器支持政府应用。

### 2.3 战略支撑

为构建形成完善的量子生态系统，NQS 以研究、人才和商业化等 3 个相互关联的支柱为基础，并加快相关投资和成果应用，建立先进的量子科学、技术开发、供应链和应用生态系统，以增强其量子优势。

战略支撑 1：研究——开发更好的解决方案。继续支持加拿大的研究基地建设，加强基础和应用研究。加拿大通过国家科学与工程理事会（NSERC）的 Alliance Quantum 计划重点资助竞争性项目，并鼓励国际合作。部署实施量子研究与开发计划（QRDI），帮助关键部门降低新兴量子技术的研发风险，推进应用以支持政府的优先事项。整合加拿大联邦部门和机构力量，合作开展量子研发项目，支持跨部门的任务和优先事项。加拿大政府在研究方面的总投资额约为 1.4 亿加元。

战略支撑 2：人才——打造世界领先的劳动力

队伍。随着越来越多的量子技术、产品和服务得到更广泛的应用，行业和研究机构面临的人才短缺问题将进一步加剧。加拿大将提高大学生和博士后薪酬，改善其工作条件，营造包容的工作氛围。加强多学科建设，培养未来的量子专家。支持战略合作伙伴关系，从国外引进优秀的研究人员和创新者。制定路线图，建设包容性人才生态系统。加拿大政府在人才方面的总投资额约为 4 500 万加元。

战略支撑 3：商业化——将研究转化为商业成果。加快量子产品和服务的开发、原型设计和测试，更快地将其推向市场。支持创新型公司在加拿大和全球的发展。加拿大通过采购量子产品和服务实现政府的关键优先事项，降低量子技术市场风险，促进公共和私营部门采用量子技术。为创新区域经济增长（REGI）计划提供 7 000 万加元的资金，支持高潜力项目和商业化活动，帮助加拿大主要区域量子中心发展。政府利用研究和采购合同支持创新型公司扩大规模。战略性地利用政策、规划和采购，与本土公司合作，共同开发解决方案。加拿大政府在商业化方面的总投资额约为 1.7 亿加元。

### 2.4 治理与协调。

为实现战略目标，加拿大政府需要建立工作机制，利用思想领导力（Thought Leadership）引导整个创新链中的研究人员、公司、用户和政府等各要素参与。协调治理将使加拿大获得更多研究和商业机会，提高应用能力。由来自加拿大量子工业界的代表成立量子咨询委员会，为政府提供政策建议。滑铁卢大学物理和天文学系教授、加拿大量子计算研究所量子信息研究主席雷蒙·拉福兰（Raymond Laflamme），西蒙菲沙大学物理系副教授、加拿大硅量子技术研究所主席史蒂芬妮·西蒙斯（Stephanie Simmons）将担任新的量子咨询委员会的共同主席<sup>[18]</sup>。该委员会将就量子战略的实施提供独立的专家建议。代表整个创新连续体（Innovation Continuum）的特定任务工作组将制定实施路线图。设立跨部门量子委员会，协调加拿大联邦各部门和机构的力量。量子战略秘书处成立联络中心，为决策提供有关信息。

### 2.5 国内和国际合作

NQS 认为，互利合作对于该战略的成功至关重要，包括加拿大的国内企业和研究人员之间、联邦部

门内部、省政府之间以及其利益相关者和国际合作伙伴之间等。加拿大近 70% 的量子科学出版物是与国际伙伴合作完成的。加拿大政府将致力于加强与双边和多边国家之间的合作，重点是与关键盟友的合作。畅通人才渠道，将量子专业人才吸引到加拿大，并帮助其发展全球量子社区；增强加拿大量子劳动力的技能；融入全球供应链，确保加拿大产品有应用市场；提高与合作伙伴生产的技术的互用性。

NQS 认为，在量子技术竞赛中取得成功仅仅依靠资金是不够的，最可靠方法是共同努力。必须共同制订路线图和时间节点计划，及时报告每一步进展并做出及时调整。加拿大联邦政府将继续与各利益相关方持续对话、深化合作，以确保所有要素都及时到位，最终取得成功。

## 2.6 关于专家对报告的咨询意见。

除 NQS 外，加拿大政府还公布了《国家量子战略咨询报告》（National Quantum Strategy Consultations: What We Heard Report）<sup>[19]</sup>。该咨询报告称，来自加拿大各地的大小企业、行业协会、非营利组织以及大学和学院的 70 名专家参与了咨询，240 名普通公众通过在线调查和电子邮件提交了匿名意见。

专家认为，面对激烈的国际竞争各方面应加快落实量子战略。（1）要培育和吸引人才；（2）要增加投资，赢得未来；（3）要加强合作，保持在量子领域的领先地位；（4）要开拓国际市场，寻求向国际市场出口技术。

加拿大制定实施 NQS，具有以下 3 个突出的特点。一是强调量子生态系统的发展。该战略强调学术界、工业界、非营利组织和政府之间的合作、国内与国际的合作，寻求在加拿大发展一个强大的量子生态系统，旨在将加拿大建设为这个新兴市场的先行者。二是重视防范长期和潜在风险。该战略充分考虑量子技术带来的道德伦理、恶意滥用和法律适用等各类风险，强调优化一系列管理流程，提高数据安全性，防患于未然。三是注重各方利益均衡。加拿大创新、科学和经济发展部与主要利益相关者举行了一系列圆桌会议，以更好地了解量子领域企业、机构和组织面临的机遇和挑战。与此同时，通过在线调查和专门的电子邮件征求公众意见，力图从制定到实施的各个阶段，该战略都能反映各方

的诉求并使最大多数人从中受益。

## 3 中国发展量子技术的机遇与挑战

根据麦肯锡咨询公司估算，在全球量子计算的近 300 亿美元公共资金中，中国占比为 50%<sup>[20]</sup>。目前，中国在量子通信和量子技术专利总数方面处于领先地位，但美国在发展量子计算和量子传感器方面领先中国约 5 年左右。近期，美国方面已逐步形成共识：“量子竞争是一场美国输不起的比赛”<sup>[21]</sup>。美国联邦政府已承诺为量子项目提供 30 亿美元的资金，其中 12 亿美元用于国家量子计算计划<sup>[22]</sup>。尽管美国在量子计算研究的政府总支出方面可能落后于中国，但其优势在于合作的盟友多。近期，美国已经采取措施与英国、日本和澳大利亚进行量子合作<sup>[23]</sup>，西方国家的集团优势正在形成。鉴于量子技术的广阔应用前景和国防价值，围绕量子技术的国家竞争和国际合作同时展开。中国在量子通信方面具有一定优势，但西方国家在量子领域的集团优势正在形成。

一是充分研究借鉴别国经验，制定国家量子发展战略规划。目前，世界主要国家都已制定实施量子发展战略，各有特点。中国应面向国家需求，注重发挥本国的比较优势，加强顶层设计和统筹布局，研究设计适合中国国情的量子发展战略。

二是注重技术创新牵引，增强产业发展能力。量子科技的进一步发展，需要多学科的交叉融合和各项关键技术的系统集成。中国需坚持国家需求和市场牵引相结合，统筹技术和产业发展，组织量子领域的科学家加强基础研究，加快成果转化与产业化全链条布局，构筑量子科技发展系统性优势。

三是以合作促开放，融入全球量子网络。没有一个国家能够在量子技术领域的各个方面都处于领先地位。应鼓励中国科学家与国际同行之间的技术合作，支持量子专家参加国际学术和工业会议，保持对国际前沿技术的跟踪了解。在国际竞争中找准定位，并与国际社会共同推动量子技术和量子产业的发展。■

### 参考文献：

- [1] Government of Canada. Canada's National Quantum Strategy[EB/OL]. [2023-12-10]. <https://ised-isde.canada>.

- ca/site/national-quantum-strategy/sites/default/files/attachments/2022/NQS-SQN-eng.pdf.
- [2] Government of Canada. Supporting Canada's leadership in quantum computing to grow the economy and create jobs[EB/OL]. [2023-12-10]. <https://www.pm.gc.ca/en/news/news-releases/2023/01/23/supporting-canadas-leadership-quantum-computing-grow-economy-and>.
- [3] BOLADIAN R. The rise of National Quantum Strategies[EB/OL]. [2023-12-06]. <https://www.kearney.com/industry/aerospace-defense/article/-/insights/the-rise-of-national-quantum-strategies>.
- [4] GUAY C. How to ensure Canada's National Quantum Strategy is a success[EB/OL]. [2023-12-12]. <https://www.innovatingcanada.ca/technology/how-to-ensure-canadas-national-quantum-strategy-is-a-success/>.
- [5] PAWAR S. Top applications of quantum computing[EB/OL]. [2023-12-02]. <https://analyticsdrift.com/top-applications-of-quantum-computing/>.
- [6] IISS. Quantum computing and defence[EB/OL]. [2023-12-02]. <https://www.iiss.org/publications/the-military-balance/the-military-balance-2019/quantum-computing-and-defence>.
- [7] NINGSIH S J, WADJDI A F, BUDIYANTO S. The importance of quantum technology in national defense in the future[EB/OL]. [2023-12-20]. <https://www.theijbmt.com/archive/0943/1235962691.pdf>.
- [8] Department for Science, Innovation and Technology. National Quantum Strategy[EB/OL]. [2023-12-20]. [https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6411a602e90e0776996a4ade/national\\_quantum\\_strategy.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6411a602e90e0776996a4ade/national_quantum_strategy.pdf).
- [9] National Strategy for Quantum Technologies. A new era for the UK[EB/OL]. [2023-12-17]. <https://uknqt.ukri.org/wp-content/uploads/2021/10/National-Quantum-Technologies-Strategy.pdf>.
- [10] Executive Office of the President of the United States. National Strategic overview for quantum information science[EB/OL]. [2023-12-06]. [https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2020/10/2018\\_NSTC\\_National\\_Strategic\\_Overview\\_QIS.pdf](https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2020/10/2018_NSTC_National_Strategic_Overview_QIS.pdf).
- [11] KELLY É. Germany to invest €2B in quantum technologies[EB/OL]. [2023-12-06]. <https://sciencebusiness.net/news/germany-invest-eu2b-quantum-technologies>.
- [12] SINGH V. Quantum Delta NL receives €60.2M to accelerate Europe's quantum tech developments[EB/OL]. [2023-12-18]. <https://siliconcanals.com/crowdfunding/quantum-delta-nl-receives-60-2m/>.
- [13] Science and Technology Facilities Council. UK and Singapore collaborate on £10m project to develop next generation communications networks[EB/OL]. [2023-12-06]. <https://www.ralspace.stfc.ac.uk/Pages/UK-and-Singapore-collaborate-on-QKD-Qubesat.aspx>.
- [14] POLLET M. France, Netherlands join forces in quantum technology race[EB/OL]. [2023-12-10]. <https://www.euractiv.com/section/industrial-strategy/news/france-netherlands-join-forces-in-quantum-technology-race/>.
- [15] Canadian quantum technology R&D partnering mission to Germany-May 30-June 3, 2022[EB/OL]. [2023-12-03]. <https://nrc.canada.ca/en/irap/about/international/?action=view&id=102>.
- [16] The White House. Fact sheet: implementation of the Australia-United Kingdom-United States Partnership(AUKUS)[EB/OL]. [2023-12-15]. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/04/05/fact-sheet-implementation-of-the-australia-united-kingdom-united-states-partnership-aukus/>.
- [17] NATO OATN. NATO launches innovation fund[EB/OL]. [2023-12-30]. [https://www.nato.int/cps/en/natohq/news\\_197494.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_197494.htm).
- [18] Perimeter Institute. Government of Canada launches National Quantum Strategy[EB/OL]. [2023-12-13]. <https://perimeterinstitute.ca/news/government-canada-launches-national-quantum-strategy#:~:text=During%20the%20announcement%20at%20Perimeter,help%20create%20thousands%20of%20jobs>.
- [19] Government of Canada. National Quantum Strategy Consultations: What we heard report[EB/OL]. [2023-12-12]. <https://ised-isde.canada.ca/site/national-quantum-strategy/en/national-quantum-strategy-consultations-what-we-heard-report>.
- [20] JESUDASON R. China will win quantum computing race unless West ups its game[EB/OL]. [2023-12-12]. <https://asia.nikkei.com/Opinion/China-will-win-quantum->

- computing-race-unless-West-ups-its-game.
- [21] HOWELL S. The China-US quantum race[EB/OL]. [2023-12-13]. <https://thediplomat.com/2023/01/the-china-us-quantum-race/>.
- [22] LIU N. China's quantum computing trails 5 years behind US, GlobalData finds[EB/OL]. [2023-12-10]. <https://www.sdxcentral.com/articles/analysis/chinas-quantum-computing-trails-5-years-behind-us-globaldata-finds/2022/11/>.
- [23] KLEBANOV S. Who's winning the quantum computing race? China and the U.S. are neck and neck.[EB/OL]. [2023-12-23]. <https://www.businessofbusiness.com/articles/whos-winning-the-quantum-computing-race-china-and-the-us-are-neck-and-neck/>.

## Key Deployment of Canada's National Quantum Strategy

LI Jianhua

(Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing 100862)

**Abstract:** The competition among countries is becoming increasingly fierce in the field of quantum science and technology. Canada has deployed the National Quantum Strategy to consolidate its global leadership position in the field of quantum technology. In its implementation, the strategy emphasizes promoting the development of the quantum ecosystem, attaches importance to preventing long-term and potential risks, and focuses on balancing the interests of all parties. China needs to fully study and learn from the experiences of other countries, formulate national quantum development strategic plans, focus on technological innovation guidance, enhance industrial development capabilities, promote cooperation through openness, and integrate into the global quantum development ecosystem.

**Keywords:** Canada; quantum technology; science and technology; strategy; opening up and cooperation