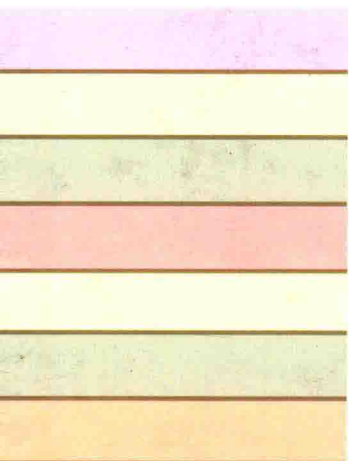




国际 科学技术前沿 报告2014

张晓林 张志强 主编



科学出版社

国际 科学技术前沿 报告 2014

张晓林 张志强 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书从基础科学、生命科学与生物技术、资源环境科学与技术、战略高技术等四大科学技术领域选择量子计算、锂离子电池正极材料、微生物农药、工业酶、个性化医疗、环境污染与健康、人类世、国际空间站物理学、大数据、仿生机器人、压缩空气储能技术等 11 个科技创新前沿领域、前沿学科、热点问题或技术领域,逐一对其进行国际研究发展态势的系统分析,全面剖析这些前沿领域、热点学科或问题的国际科技发展的整体进展状况、研究动态与发展趋势、国际竞争发展态势,并提出我国开展这些相关前沿领域和热点问题研究的对策建议,为我国这些领域的科技创新发展战略决策提供重要的决策依据,为有关科研机构开展这些科技领域的研究提供国际发展的参考背景。

本书所阐述的科技前沿领域或热点问题,选题新颖,具有前瞻性,分析数据准确,资料翔实,研发对策建议可操作性强,适合政府科技管理部门和科研机构的管理者、科技战略研究人员和相关学科领域的研究人员及高校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

国际科学技术前沿报告 2014 / 张晓林, 张志强主编. —北京: 科学出版社, 2014. 9

ISBN 978-7-03-041946-0

I. 国… II. ①张… ②张… III. 科技发展—研究报告—世界—2014
IV. N11

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第218401号

责任编辑: 邹一鹏 / 新 / 责任校对: 刘亚琦

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 黄华斌

编辑部电话: 010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年9月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014年9月第一次印刷 印张: 30 插页: 12

字数: 700 000

定价: 158.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《国际科学技术前沿报告 2014》

研 究 组

组 长：张晓林 张志强

成 员：张 薇 冷伏海 刘 清

高 峰 邓 勇 曲建升

房俊民 张 军 徐 萍

赵亚娟 杨 帆 熊永兰

王雪梅 陈 方 张 娴

梁慧刚 魏 凤 边文越

前 言

中国科学院文献情报系统作为服务于国家基础科学、资源环境科学与技术、生命科学与生物技术、战略高技术及重大产业与技术创新、边缘交叉前沿科学发展的国家级科技信息与决策咨询知识服务骨干机构系统，以服务科技决策一线和科技研究一线为己任，在全面建设支撑科技创新的信息资源与服务体系的同时，建立全方位、多层次、集成化和协同化的支持科技战略研究、科技规划和科技决策的战略情报研究服务体系，跟踪监测国际科技战略与科技政策，系统分析科技领域发展态势，深入调研重大科技进展和重要科技政策，全面评价国际科技领域的竞争力，建立系统的世界科技态势监测分析的知识服务与决策咨询机制。

中国科学院文献情报系统在其理事会的领导下，根据中国科学院科技创新的战略布局，发挥其系统整体化优势，按照“统筹规划、系统布局、协同服务、整体集成”的原则，构建“分工负责、长期积累、深度分析、支撑决策”的战略情报研究服务体系，面向国家和中国科学院科技创新的宏观战略决策，面向中国科学院科技创新领域和前沿方向的创新决策，开展深层次战略情报研究服务：文献情报中心（北京）负责基础科学以及交叉和重大前沿、空间光电与大科学装置、现代农业科技等创新领域的战略情报研究，兰州文献情报中心负责资源环境科学以及生态环境、资源科技、海洋科技等创新领域的战略情报研究，成都文献情报中心负责部分战略高技术以及信息科技、先进工业生物技术等创新领域的战略情报研究，武汉文献情报中心负责部分战略高技术以及先进能源、先进制造与先进材料等创新领域的战略情报研究，上海生命科学信息中心负责生命科学以及人口健康与医药等创新领域的战略情报研究。基于上述统筹规划，形成了覆盖主要科技创新领域的10个学科领域科技战略情报研究团队体系。服务体系建设、科技前沿聚焦、决策需求导向、专业战略分析、政策咨询研究的发展机制和措施，促进了这些学科领域科技战略情报研究与决策咨询专门知识服务中心的快速成长和发展。

从2006年起，我们部署这些学科领域科技战略情报研究团队，围绕各自分工关注的科技创新领域的发展态势，结合中国科学院和我国科技创新的决策需求，每年选择相应科技创新领域的前沿科技问题或热点科技方向，开展国际科技发展态势的系统战略分析研究，汇编形成年度《国际科学技术前沿报告》，呈交中国科学院有关部门、研究所和国家相关科技管理部门，以供科技决策参考。从2010年开始，完成的研究报告《国际科学技术前沿报告2010》、《国际科学技术前沿报告2011》、《国际科学技术前沿报告2012》、《国际科学技术前沿报告2013》等公开出版，供科研人员和科技管理人员参考。这些年度的《国际科学技术前沿报告》汇集在一起，就形成相关科技领域科技前沿变化发展的百科全书，对相关科技领域的发展战略研究、科技决策等具有重要参考价值。

2014年,我们继续部署这些学科领域科技战略情报研究团队,选择相应科技创新领域的前沿学科、热点问题或重点技术领域,开展国际发展态势分析研究,完成这些研究领域的分析研究报告11份。文献情报中心完成《量子计算国际发展态势分析》、《锂离子电池正极材料国际发展态势分析》、《微生物农药国际发展态势分析》和《国际空间站物理科学研究前沿发展态势分析》,兰州文献情报中心完成《环境污染与健康研究国际发展态势分析》和《人类世研究国际发展态势分析》,成都文献情报中心完成《工业酶领域国际发展态势分析》和《大数据研究国际发展态势分析》,武汉文献情报中心完成《仿生机器人国际发展态势分析》和《压缩空气储能技术国际发展态势分析》,上海生命科学信息中心完成《个性化医疗领域国际发展态势分析》。本书将这11份前沿学科、热点问题或技术领域的国际发展态势分析研究报告汇编为《国际科学技术前沿报告2014》,正式出版,供科技创新决策部门和科研管理部门、相关领域的科研人员和科技战略研究人员参考。

围绕有效支撑和服务国家和中国科学院的科技战略研究、科技发展规划和科技战略决策的新需求,适应数字信息环境和数据密集型科研新范式的新趋势,中国科学院文献情报系统的科技战略研究咨询工作将进一步面向前沿,面向需求,面向决策,着力推动建设科技战略情报研究的新型业务发展模式,着力推动开展专业型、计算型、战略型、政策型和方法型战略情报分析和科技战略决策咨询研究,持续监测、跟踪国际最新科技进展、重要国家和国际组织关注的重要科技问题,系统开展科技热点和前沿、科技发展战略与政策、科技评价与管理等研究和分析,及时把握科技发展新趋势、新方向和新变革,及时揭示国际科技政策、科技管理发展的新动态与新举措,为重大咨询研究、学科战略研究、科技领域战略研究、科技政策研究提供战略情报分析和知识计算服务,在中国科学院科技战略咨询研究院的建设和发展中发挥不可替代的作用。

中国科学院文献情报系统的战略情报研究服务工作一直得到中国科学院领导和院有关部门的指导和支持,得到院属有关研究所科技战略专家的指导和帮助,得到科技部、国家自然科学基金委员会等部门领导和专家的大力支持和指导,得到相关领域专家学者的指导和参与,在此特别表示感谢。衷心希望我们的工作能够继续得到中国科学院和国家有关部门领导和战略研究专家的大力指导、支持和帮助。

国际科学技术前沿报告研究组

2014年6月10日

目 录

前言

1 量子计算国际发展态势分析	(1)
1.1 引言	(2)
1.2 世界各国/组织量子计算研究现状	(3)
1.3 量子计算研究论文计量分析	(11)
1.4 量子计算技术专利态势分析	(16)
1.5 研究总结与建议	(23)
2 锂离子电池正极材料国际发展态势分析	(27)
2.1 引言	(28)
2.2 锂离子电池正极材料研究现状及论文计量分析	(31)
2.3 锂离子电池正极材料专利分析	(38)
2.4 建议与对策	(50)
3 微生物农药国际发展态势分析	(53)
3.1 引言	(54)
3.2 微生物农药研究领域的文献计量分析	(55)
3.3 微生物农药专利分析	(84)
3.4 微生物农药产业发展态势	(104)
3.5 结论与建议	(113)
4 工业酶领域国际发展态势分析	(118)
4.1 引言	(119)
4.2 国际规划与举措	(120)
4.3 国际工业酶研究与应用现状	(127)
4.4 工业酶产业发展现状	(147)
4.5 总结与建议	(156)
5 个性化医疗领域国际发展态势分析	(160)
5.1 引言	(161)
5.2 个性化医疗政策规划	(162)
5.3 个性化医疗发展趋势	(177)
5.4 个性化医疗产业现状	(192)

5.5 政策建议	(195)
6 环境污染与健康研究国际发展态势分析	(200)
6.1 引言	(201)
6.2 各国环境污染与健康发展战略与计划	(203)
6.3 环境污染与健康研究文献计量分析	(212)
6.4 环境污染与健康研究进展及动向	(226)
6.5 我国环境污染与健康研究现状	(236)
6.6 结论与建议	(240)
附录 环境污染与健康研究国际发展态势分析检索式	(248)
7 人类世研究国际发展态势分析	(250)
7.1 引言	(251)
7.2 国外人类世研究现状	(254)
7.3 我国人类世研究现状	(269)
7.4 人类世研究前沿热点	(270)
7.5 人类世主要研究方向	(281)
7.6 人类世的科学反思——地球系统管理	(285)
7.7 结论与建议	(286)
附录 人类世工作小组成员表	(292)
8 国际空间站物理科学研究前沿发展态势分析	(294)
8.1 引言	(295)
8.2 主要国家/地区微重力物理科学研究历程、重要计划及未来发展战略	(297)
8.3 国际空间站物理科学实验研究态势及其产出分析	(310)
8.4 国际空间站物理科学研究设备	(337)
8.5 研究结论	(344)
8.6 启示与建议	(346)
9 大数据研究国际发展态势分析	(351)
9.1 引言	(352)
9.2 各国大数据发展战略与政策分析	(354)
9.3 大数据关键技术研发与应用态势	(377)
9.4 大数据科学与工程的关键问题与挑战	(389)
9.5 总结与建议	(396)
10 仿生机器人国际发展态势分析	(402)
10.1 引言	(403)
10.2 国内外机器人研究战略与计划	(406)



10.3	仿生机器人研究进展	(411)
10.4	仿生机器人研究的部分关键技术	(419)
10.5	仿生机器人相关专利计量分析	(425)
10.6	结语与启示	(434)
附录	专利检索策略	(438)
11	压缩空气储能技术国际发展态势分析	(439)
11.1	引言	(440)
11.2	压缩空气储能系统与经济性	(441)
11.3	压缩空气储能应用与发展	(445)
11.4	压缩空气储能技术专利总体态势分析	(454)
11.5	发展对策	(465)

彩图

1 量子计算国际发展态势分析

黄龙光 刘小平 李泽霞 冷伏海

(中国科学院文献情报中心)

摘 要 量子计算在提高运算速度方面具有突破现有传统信息系统的极限的能力,已成为物理学研究最热门的领域之一。近年来,量子计算的研究开始从理论进入实验研究,其中,量子算法和量子计算的物理实现是量子计算的两大热点研究方向。量子计算研究旨在实现真正意义上的量子计算机,而量子计算机具有巨大应用前景和市场潜力,因此,各国政府制定了一系列针对量子计算的研发计划。美国通过国防部高级研究计划局和国家科学基金会等机构部署了一系列计划,投入巨资支持量子计算的研究。欧盟在框架计划中对量子计算进行了大力的支持,日本、加拿大和中国等都设立了相关的计划。此外,量子计算也引起了商业应用的兴趣,各国企业都积极投入量子计算的研究中。

本报告定性调研和分析了美国、欧洲、日本、加拿大和中国等在量子计算的研究现状,发现各国高度重视量子计算研究,对其资助保持增长势头。其中,美国的研发投入最多,目前的研究重点为开发新的量子算法及表征和操纵纠缠量子系统。欧盟的资助也在增加,研究重点为量子算法和混合量子系统的开发。中国对量子计算也越来越重视,通过973计划和国家自然科学基金等的资助进行了大力支持。

本报告还对量子计算研究论文和专利进行了定量分析,发现量子计算研究保持了很高的热度,美国是研究论文发表最多的国家,中国近3年^①表现活跃。量子计算领域近3年新出现的主题词主要有固态自旋、量子失协、耦合腔、量子化电导、非对称量子码、量子因子算法、量子图像处理等,从一定程度反映了量子计算研究最近的发展趋势。从专利看,量子计算专利申请量从1996年开始快速增加,到2006年申请量达到高点。量子计算的专利受理大多数集中在美国专利商标局和日本专利局,中华人民共和国国家知识产权局受理的专利数量虽然位居第三,但远少于这两家专利机构。

基于这些特点,本报告建议,中国应持续支持量子计算领域已有或未来有前途的优先领域,集中优势突破关键技术以打破技术垄断局面,并及早走出商业化之路。

关键词 量子计算 文献计量 量子算法 物理实现 量子计算机

^① 本书中,除注明具体年份外,近3年指2011~2013年

1.1 引言

量子计算是应用量子力学原理来进行有效计算的新颖计算模式（周正威等，2005）。量子计算利用量子态的相干叠加性和纠缠特性来实现量子的并行计算，这些特性可以指数倍的提高计算速度，远超经典计算，因此量子计算可以用来解决一些经典计算难以解决的问题。由于量子计算相对于经典计算的巨大优势，近年来，量子计算已成为物理学领域最活跃的研究前沿之一。量子计算研究的最终目标是实现真正意义上的量子计算机，科学家认为，量子计算机将掀起一场划时代的科学革命。量子计算机具有强大的计算能力，可以增强人类分析解决问题的能力，从而促进各领域的研究。

1.1.1 量子计算的发展历程

量子计算的研究工作始于 20 世纪 80 年代。1980 年，美国阿贡国家实验室的保罗·贝尼奥夫（Paul Benioff）提出用量子物理系统来有效地模拟经典计算机（Benioff，1980）。1982 年，美国著名物理学家理查德·费曼（Richard Feynman）提出了量子计算机的设想（Feynman，1982）。1985 年，英国牛津大学的戴维·多伊奇（David Deutsch）明确提出了量子计算机的概念，并指出任何物理过程原则上都能很好地被量子计算机模拟（Deutsch，1985）。1994 年，美国贝尔实验室的彼得·肖尔（Peter Shor）提出大数因子分解的量子算法（Shor，1994），证明运用量子计算机能有效地进行大数的因式分解，这一算法展示了量子计算的广泛用途，并极大地威胁到了以大数质因数分解难题为基础、广泛用于当今银行和政府部门的 RSA 密钥体系。自此，物理学界掀起了研究量子计算的热潮，世界各国的大学、研究机构和企业都纷纷投入到量子计算的研究中。进入 21 世纪之际，量子计算的研究也开始从理论进入到实验研究。研究人员在核磁共振、离子阱、线性光学、超导约瑟夫森结、量子点等物理系统上，开展了量子计算的基础研究。

1.1.2 量子计算的研究现状

目前，量子算法和量子计算的物理实现是量子计算的两大热点研究方向。

量子算法是能在量子计算机上运行的算法，它利用了量子相干性或其他量子特性，能够提高计算速度。在 Feynman 提出量子计算机设想后，研究人员陆续提出 Deutsch-Jozsa 算法（Deutsch，Jozsa，1992）和 Simon 算法（Simon，1994）等量子算法，这些算法显示了量子计算的威力，但不能应用于求解与实际生活密切相关的重要问题。1994 年的量子 Shor 算法和 1997 年的 Grover 算法（Grover，1997）是目前最具广泛影响的两种量子算法，前者可以用于求解大数的质因子分解，进而可以攻破 RSA 密钥系统，后者能实现平方加速，即只需要根据数据库大小的平方根次搜索就能找到答案。正是这两种量子算法的出现，使量子计算成为了物理学领域的国际热点研究前沿。量子随机行走（Aharonov et al.，1993）

利用了量子力学的态相干叠加,被广泛应用于量子算法的研究,是量子计算的一个重要研究方向。近年来,几乎没有新的量子工具出现,量子算法的研究主要围绕现有的核心量子算法展开深入研究,如实现 21 的质因数分解 (Martín-López et al., 2012)、基于 Grover 算法延拓的计算几何算法 (Furrow, 2008)、利用量子随机行走进行普适量子计算 (Childs et al., 2009, 2013; Lovett et al., 2010) 等。

量子计算研究的最终目标是实现真正意义上的量子计算机。2000 年,美国 IBM 公司的 DiVincenzo 提出了在具体物理体系中建造量子计算机的判据,原则上,任何真正意义上的量子计算机都需要满足 DiVincenzo 判据 (DiVincenzo, 2000)。量子计算的物理实现主要包括量子光学和凝聚态物理等方法。应用量子光学方法的技术主要有离子阱 (Cirac, Zoller, 1995)、中性原子 (Jaksch et al., 1998)、线性光学 (Knill et al., 2001)、量子点 (Loss, DiVincenzo, 1998)、腔量子电动力学 (Turchette et al., 1995) 等,应用凝聚态物理方法的技术主要有超导约瑟夫森结 (Shnirman et al., 1997)、液态核磁共振 (Gershenfeld, Chuang, 1997)、金刚石 NV 色心 (Gruber et al., 1997) 等。近年来,这些技术都取得了重大进展,如在线性离子阱系统中实现了 14 个量子比特的纠缠态的制备 (Monz et al., 2011),在线性光学系统中实现了 Shor 量子分解算法 (Lu et al., 2007),在半导体量子点器件上实现了量子计算的全部要素 (Nowack et al., 2007),提出超导量子计算的 RezQu (振子-零态量子比特) 构建 (Galiautdinov et al., 2012),研制出冯·诺伊曼结构的量子计算机系统 (Mariantoni et al., 2011),等等。然而,哪些方案能在未来实现真正的量子计算机,还有待进一步的研究。2011 年,加拿大 D-Wave 公司发布全球第一台商用量子计算机,然而,D-Wave 量子计算机是否是真正意义上的量子计算机,一直备受争议和质疑。

1.2 世界各国/组织量子计算研究现状

1.2.1 美国

美国投入巨资支持量子计算的研究,而且,资助量子计算研究的机构众多,如美国国防部高级研究计划局 (DARPA)、国家科学基金会 (NSF)、情报高级研究计划局 (IARPA)、国家安全局、国家航空航天局、能源部和国家标准与技术研究院等。

1.2.1.1 美国 DARPA 对量子计算的资助

美国 DARPA 对量子计算一直都很重视,从 20 世纪 90 年代开始就大力资助量子计算相关的研究。1997 年,DARPA 资助 500 万美元支持量子信息与计算研究所研究量子计算及其应用。从 90 年代末到 2013 年,DARPA 在国防研究科学、电子学技术和通信技术等领域对量子计算进行了多方面的支持。1998 年投入 568 万美元,用于研究能实现量子计算技术的计算模型;2000 年投入 400 万美元,开发量子计算的新算法,研究量子计算的排序和输入、输出机制等;2001 年投入 400 万美元,模拟量子计算新算法,并评估其与传统方



法的速度对比及量子计算排序和输入、输出机制的原型验证等。

2001 年，美国 DARPA 启动了为期 5 年的《量子信息科学与技术计划》（QuIST），资助金额为约 1 亿美元，其目标是全方位开展研究以产生基于量子信息科学的新技术，历年的资助金额和研究内容见表 1-1。2005 年，DARPA 启动了《重点量子系统计划》（FoQuS），以将 QuIST 计划获得的技术用于开发先进的量子信息处理器，重点研究架构开发、量子存储器、输入输出接口、态合成器及材料和器件的纳米制造等，目的是加速量子计算机的开发。FoQuS 计划在 2005 年的资助经费为 2228 万美元，2006 年为 2470 万美元。2007 年，FoQuS 计划更名为“量子纠缠科学与技术计划”（QUEST）。由于 2007 年 DARPA 在国防研究科学领域也设立了 QUEST 计划，2008 年起，在电子学技术领域资助的 QUEST 计划更名为“量子信息科学计划”（QIS）。

表 1-1 QuIST 计划历年资助经费及研究内容

年份	资助经费/万美元	研究内容
2001	1429	研究能把可靠、可扩展的量子比特制造为器件的技术，研究超越因子分解和无序搜索、能有效提高量子计算机效率的新问题
2002	1539	研究固态量子比特存储器、可靠生成纠缠量子比特等用于容错通信和计算的设计和器件
2003	2060	为量子通信和量子计算开发模型和可扩展架构，验证单光子源和探测器，研发在更小量子计算机上模拟大型量子问题的方法，研究成千上万个量子比特的纠错，验证可扩展的量子计算和存储架构
2004	2727	验证改进的单光子源和纠缠光子源及探测器；研究可用于量子通信、量子计算和量子存储器的设计、架构和器件，验证容错固态量子比特存储器和至少两个纠缠量子比特的量子逻辑门
2005	2544	验证改进的单光子源和纠缠光子源及探测器；研究可用于量子通信、量子计算和量子存储器的设计、架构和器件，验证容错固态量子比特存储器和至少两个纠缠量子比特的量子逻辑门；用可扩展量子比特架构验证国防部感兴趣的应用（如量子中继器）

国防研究科学领域的 QUEST 计划自 2007 年起的年度资助经费见表 1-2。QUEST 计划探索建立基于量子信息科学的新技术所需的研究。其技术挑战包括：量子退相干导致的信息丢失、信号衰减导致的有限通信距离、算法和协议的有限选择，以及数量更多的量子比特。关键挑战之一是将改进的单光子、纠缠光子和电子源，以及探测器集成到量子计算和近信网络中。纠错码、容错方案以及较长的退相干时间将解决信息丢失问题。该计划的研究成果将对高度安全的通信、物流优化算法、地球上和太空中时间和位置的精确测量、用于目标跟踪的新的图像和信号处理方法产生重大影响。

表 1-2 QUEST 计划历年资助经费及研究内容

年份	资助经费/万美元	研究内容
2007	393	开发减少退相干导致的信息丢失的方法，研发非邻近量子比特之间快速通信的技术，开发新的量子算法
2008	442	探索纠缠、退相干、多体量子系统等基础量子系统，开发与量子信息科学密切相关的新算法和新协议，研究小量子系统

续表

年份	资助经费/万美元	研究内容
2009	1480	开发提高退相干时间的方法，设计纠缠量子系统的全面表征和操纵，开发新的量子算法
2010	880	继续量子信息领域的基础研究，开发提高退相干时间的新方法，验证新量子算法
2011	1913	继续量子信息领域的基础研究，验证纠缠量子系统的全面表征和操纵
2012	509	继续量子信息领域的基础研究，表征和操纵纠缠量子系统

2008 年起，QIS 计划的年度资助经费见表 1-3。QIS 计划是一项基础广泛的工作，将继续探索未决的基础问题，发现新算法，探索量子处理的理论和实验局限性，构建高效的实现方法。该领域研究的最终目标是，证明量子力学效应在通信和计算中潜在的优势。

表 1-3 QIS 计划历年资助经费及研究内容

年份	资助经费/万美元	研究内容
2008	197	把改进的单光子源和纠缠光子源及探测器集成到现有的量子通信网络，研究量子信息科学未决的基础问题，用量子比特架构验证国防部感兴趣的应用（如量子中继器、大城市区域的安全网络等）
2009	799	研究量子信息科学未决的基础问题，用量子比特架构验证国防部感兴趣的应用（如量子中继器、大城市区域的安全网络等），验证多量子比特类型之间的交互以连接量子通信链接
2010	342	测量单电子自旋寿命和在硅片上的门控量子点验证可控门运算，对动力学去耦引起的退相干时间的提高开展理论分析，为超导量子比特探索新材料、噪声特征和减少退相干策略
2011	714	测量硅片上门控量子点单电子自旋的退相干时间，在硅片上的量子器件验证量子交换协议，实施一个和两个超导量子比特的断层扫描态和色散读出，通过材料改进制造高质量超导隧道结
2012	470	验证量子信息从一种类型变为另一种类型的互换，验证微观尺度量子信息的输运
2013	235	在量子比特上实施断层扫描态，验证不同量子比特技术之间的量子信息互换，验证微观尺度量子信息的输运

1.2.1.2 美国 NSF 资助的与量子计算有关的项目

美国 NSF 长期保持对量子计算相关项目的资助。2000 年开始，NSF 在信息技术研究计划中大力支持量子计算的研究。2002 年，NSF 设立“量子 and 生物启发的计算”（QuBIC），在量子信息科学方面重点资助两个方面，与量子信息科学相关的物理基础研究和开发通用计算、系统级计算设计及特定用途算法所需的量子计算原理。NSF 近期对量子计算的资助有以下几种。

1) 量子算法和复杂性中心项目

量子算法和复杂性中心项目的资助经费是 135 万美元，资助期限是 2009 ~ 2013 年

(National Science Foundation, 2013-11-08)。该项目重点研究量子计算的几个基本算法问题,如新量子算法的设计等。量子算法和复杂性中心将探索一些方法,包括通过张量网络的量子逼近实现量子算法设计的新框架,以及最近使用量子算法发现隐藏非线性结构的工作。复杂性中心还将研究量子复杂性理论的基本问题,包括量子交互证明系统的复杂性。

2) 化学创新中心项目:化学量子信息与计算

化学创新中心项目资助经费是 152.5 万美元,资助期限 2010 ~ 2014 年 (National Science Foundation, 2013-11-12)。化学创新中心第一阶段的目标是促进利用理论概念和量子信息框架对化学过程的理解。通过创建一套工具,将量子化学计算映射到量子算法实现该目标,量子算法和计算适用于当前和近期的量子信息处理器,可以扩展到未来的设备。化学创新中心将研究新的方法来抑制误差控制和噪声环境造成的误差,实现实验量子模拟,创造解耦脉冲的工具箱和优化纠错,以便将量子算法集成到化学系统。这些量子信息技术将被用来获得对从光合作用到化学键断裂等不同化学过程的新观点。化学创新中心将聚集理论化学和量子信息处理的专家密切合作,开发量子算法和研究结构,为量子计算机的实验实现和量子信息革命做出贡献。

3) 复杂量子系统仿真的量子网络基础设施项目

复杂量子系统仿真的量子网络基础设施项目资助经费为 205 万美元,资助期限为 2010 ~ 2014 年 (National Science Foundation, 2013-11-13)。该项目支持设计一种新型量子计算机的研究,将开发根据超导电路建立的通用量子模拟器。10 年或 20 年后,这些通用量子模拟器将配备超级计算中心的传统机器,将作为在线计算资源提供给科学家。这种资源将对原子和分子碰撞、冷原子气体、复杂的化学动力学、低温物理学、材料物理学和量子化学等许多领域产生重大影响。

1.2.1.3 美国 IARPA 的量子计算机科学项目

美国 IARPA 是为美国国家安全局服务的机构,其设立量子信息科学计划,目的是建立一个科学规模的量子计算机并研究它的特性,该计划在 2008 年资助了 13 个项目,其中对量子计算概念熟化的资助为每年 50 万 ~ 100 万美元 (Berkeland, 2013)。2010 年, IARPA 发布量子计算机科学计划,将重点研究在实际量子计算机上运行量子算法所需的计算资源问题。这个计划分为三个核心技术领域:量子算法的实现、量子纠错和量子最优控制。研究这些问题需要开发一个量子计算工具箱,包括量子编程环境,以及生成、分析和优化选择量子纠错和控制协议的工具。

1.2.2 欧盟

欧洲也在积极研发量子计算 (QUROPE, 2013)。20 世纪 80 年代末 90 年代初,欧盟资助的光电子学和电子学领域的项目,研究了量子现象,目的是克服一流设备中的限制。在 1995 ~ 1998 年的第四框架计划 (FP4) 中,这一研究逐渐演化为“量子信息处理”。量子信息处理的研究重点是证明光子的量子纠缠。在 90 年代中期,欧洲有若干研究小组取得了重要成果,这些小组不久后就成为众多“未来与新兴技术”(FET)项目的主力军。



在 FP5 (1999 ~ 2002 年) 中, FET 启动了量子信息处理和通信 (QIPC) 计划。QIPC 计划征集了两次申请, 共资助了 25 个项目, 总资助经费为 4100 万欧元, 此外还有欧盟 3100 万欧元的资助。

FP6 (2003 ~ 2006 年) 继续支持 FET 计划。其中, 与量子计算相关的项目共有 3 个, 为期 4 年, 总资助经费为 2500 万欧元。这 3 个项目为: 对光子和原子的可扩展量子计算 (SCALA) 项目, 资助经费为 940 万欧元, 研究重点是通过使用可单独控制的原子、离子和光子, 实现可扩展量子计算机; 量子比特应用 (QAP) 项目, 资助经费为 990 万欧元, 研究重点是基于光子、原子及固态系统的量子比特应用; 欧洲超导量子信息处理器 (EuroSQIP) 项目, 资助经费为 600 万欧元, 研究重点是发展 3 ~ 5 个量子比特的量子信息处理器。此外, 在 FP6 中, 还有 8 个小型项目 (特别目标研究项目, STREP) 获批, 总资助经费为 1360 万欧元。它们包括: COVAQIAL, 原子和光的连续变量量子信息; QUELE, 捕获电子量子计算; RSFQUBIT, 约瑟夫森结量子比特的快速单通量量子控制; OLAQUI, 光学网格和量子信息; ACDDET, 声电单光子探测器; MICROTRAP, 发展泛欧洲微捕获技术, 以发展捕获离子量子信息科学; QICS, 量子信息和量子计算的基础结构; EQUIND, 纳米结构金刚石中的工程化量子信息。

在 FP7 中, QIPC 计划继续获得支持, 量子计算相关项目包括: 原子量子技术 (AQUTE) 项目, 获得 530 万欧元的资助, 其研究内容是实现 10 量子比特和能模拟量子系统的量子信息处理器, 开发新型混合量子系统, 探索耗散量子计算等新理论概念; 量子接口、传感器和基于纠缠的通信 (Q-ESSENCE) 项目, 获得了 470 万欧元的资助, 其研究内容是开发能高保真映射不同量子系统之间量子信息的量子接口, 产生新尺度和新距离的量子纠缠, 在基本系统的特定拓扑结构中设计多体纠缠; 量子信息处理固态系统 (SOLID) 项目, 获得了 500 万欧元的资助, 其研究内容是基于微波和光学纳米光子腔开发小型固态混合系统, 在这些混合系统中, 约瑟夫森结电路、量子点和金刚石 NV 色心等类型的固态量子比特与电磁中心相关联。2013 年启动的项目有: 人工与自然混合原子系统 (HANAS) 项目, 资助经费 324 万欧元, 旨在研究固态和原子组分相结合的混合量子系统; 量子算法 (QALGO) 项目, 257 万欧元, 寻找用于量子计算机的新算法和新的量子通信协议; 量子波导应用于开发 (QWAD) 项目, 216 万欧元, 引入激光写入集成光学技术, 解决可扩展性和可靠性等重大问题; 量子信息纠缠技术的可扩展超导处理器 (SCALEQIT) 项目, 594 万欧元, 解决量子信息处理的工程问题, 分析和实现量子计算和量子模拟大规模超导混合系统的实际情景。

1.2.3 日本

2000 年, 日本科学技术振兴机构 (JST) 在其《先进技术探索研究计划》(ERATO) 中, 设立了为期 5 年的“量子计算与信息”项目, 重点研究量子计算和量子通信的复杂性、设计新的量子算法、开发量子电路、找出量子自控的有用特性及开发量子计算模拟。2001 年, 日本制定了第 2 次科学技术基本计划。该计划的重点之一是加强基础研究, 因此, 日本科学技术振兴机构设立了《解决方案导向的科学技术研究计划》(SORST), 对

已资助的优秀项目进行追加支持，ERATO-SORST 量子计算与信息项目是其中之一，为期 5 年（2005 年 10 月~2011 年 3 月），资助金额为 8.2 亿日元，重点研究新量子计算范式的开发，包括量子算法、量子分布式计算、量子信息处理等。

2001 年，日本邮政省（已合并到现在的总务省）启动了一个为期 10 年的《量子信息科学和技术计划》，总资助经费为 350 万美元。研究重点包括：量子信息理论的实现、量子通信技术的基础研究、量子密码试验平台的开发。

2009 年，日本学术振兴会（JSPS）投入 1000 亿日元设立了《世界一流科学技术创新研究资助计划》（FIRST），旨在推动日本的前沿研究。“量子信息处理项目”是该计划资助的 30 个项目之一，资助金额为 32.5 亿日元，重点研究量子计算机/量子模拟器、量子通信、量子度量学及光频钟等四个领域（FIRST，2013-11-18）。该项目将研究数字量子计算机和模拟量子计算机，其中，模拟量子计算机由于不需要控制单个量子门，力争在 5 年内开发出可行的技术；而数字量子计算机需要操控单个量子比特，因此，该项目将放弃那些不能规模化为大量量子比特的方法，重点研究具有强大纠错能力的系统：超导量子比特系统和自旋量子比特系统。

1.2.4 加拿大

加拿大自然科学和工程研究理事会从 1994 年就开始资助量子计算的基础研究“量子计算和加密”，至今已经持续资助了近 20 年，累计在量子计算的研究中投入了约 2500 万加元（图 1-1）。而且，其资助强度不断加大，从 1994~1995 财年的 8.7 万加元增加到 2012~2013 财年的 518 万加元。

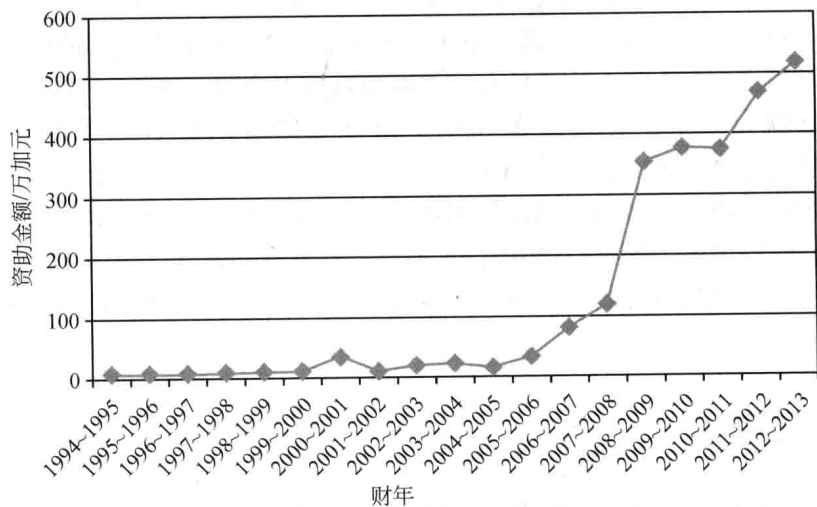


图 1-1 加拿大量子计算研究历年资助情况

资助的项目涉及量子计算的方方面面，表 1-4 中列出了加拿大自然科学和工程研究理事会资助的与量子计算相关的部分重点项目。