

全球量子信息技术高水平基础研究 人才分布特征与研究主题分析

李兵¹ 徐辉¹ 车尧² 秦全胜¹ 周洪^{3,4}

(1. 科学技术部科技人才交流开发服务中心, 北京 100045; 2. 中国科学技术信息研究所, 北京 100038; 3. 中国科学院武汉文献情报中心, 湖北武汉 430071; 4. 中国科学院大学经济与管理学院信息资源管理系, 北京 100191)

摘要: 量子信息技术是现代量子物理与信息科学交叉融合的新兴前沿科学, 突破了传统信息技术的物理极限, 有望在未来带来革命性的变革。随着量子技术的快速发展, 量子信息技术领域人才变得越来越重要, 特别是高水平基础研究人才。充分了解全球量子信息技术领域的人才情况, 对于把握未来技术和产业发展趋势, 以及制定相应的战略规划和扶持政策, 具有重要的意义。采用全球“高被引科学家”名单和量子信息技术领域的论文数据, 探究量子信息技术领域高水平基础研究人才的分布特征, 分析人才研究主题, 梳理研究成果的规律和特点, 提出量子信息技术人才相关方面的政策意见和建议。

关键词: 量子信息技术; 基础研究; 科技人才; 高被引科学家; 主题分析

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2023.06.005

CSTR: 15994.14.issn.1674.1544.2023.06.005

中图分类号: G316

文献标识码: A

Characterization of the Distribution of High-level Basic Research Talents and Analysis of Research Themes in Global Quantum Information Technology

LI Bing¹, XU Hui¹, CHE Yao², QIN Quansheng¹, ZHOU Hong^{3,4}

(1. Exchange & Development & Service Center of Science & Technology Talents of The Ministry of Science & Technology, Beijing 100045; 2. Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038; 3. Wuhan Document and Information Center, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071; 4. Department of Information Resources Management, School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100191)

Abstract: Quantum information technology is a new frontier science that combines modern quantum physics and information science. It breaks through the physical limits of traditional information technology and is expected to bring revolutionary changes in the future. With the rapid development of quantum technology, talents in the field of quantum information technology become more and more important, especially high-

作者简介: 李兵 (1972—), 男, 科学技术部科技人才交流开发服务中心副研究员, 研究方向为科技人才、科技政策; 徐辉 (1976—), 男, 科学技术部科技人才交流开发服务中心高级工程师, 研究方向为科技人才、科技政策; 车尧 (1982—), 男, 中国科学技术信息研究所副编审, 主要研究方向为国际科技合作、科研诚信、科研伦理、科技政策、科技期刊评价; 秦全胜 (1971—), 男, 科学技术部科技人才交流开发服务中心高级工程师, 研究方向为科技政策、科技人才; 周洪 (1987—), 男, 中国科学院武汉文献情报中心副研究员, 研究方向为专利分析、计算情报研究 (通信作者)。

收稿时间: 2023年3月31日。

level basic research talents. Fully understanding the talent situation in the global quantum information technology field is of great significance for grasping the future technology and industry development trend, and formulating corresponding strategic planning and support policies. The purpose of this paper is to explore the distributed feature of high-level talents in the field of quantum information technology, use the global list of "highly cited scientists" and the paper data in the field of quantum information technology, analyze the distribution and research theme of talents, sort out the laws and characteristics of research results, and put forward opinions and suggestions on policies for quantum information technology talents.

Keywords: quantum information, basic research, scientific and technical talents, highly cited scientists, theme analysis

以量子计算、量子通信和量子测量为代表的量子信息技术,正成为新一轮科技革命和产业变革的前沿领域^[1-5]。在全球竞争背景下,发达国家高度重视量子信息技术,纷纷制定国家战略、规划推动相关技术发展^[6-7],如美国制定《量子信息科学和技术发展规划》《国家量子倡议法案》,欧盟制定“欧洲量子技术旗舰计划”,英国发布《量子技术国家战略》^[8-9]等。我国也高度重视量子信息技术的发展,在国家相关科技规划中将其作为重点突破方向^[10-12]。

随着量子信息技术的快速发展和应用需求的增加,相关领域人才变得越来越重要^[13],特别是提升了基础研究水平、推进了原始创新、提供了商业化支持的高水平基础研究人才。目前,已有学者开展了多方面的量子领域人才研究。一是关注量子人才政策,如叶珍珍等^[9]重点分析了欧盟和美国的量子重大战略部署背后的相关科学家,张翼燕^[14]、田芬^[15]研究了美国等国家的量子人才政策和战略举措。二是关注量子人才的培养,如Aiello等^[16]探讨了量子教育的挑战和应对,曹远龙等^[17]提出“互联网+量子技术”复合型人才培养模式,郑海荣等^[18]、张成园等^[19]、王子武等^[20]从量子教学出发探讨多途径的人才培养模式。然而,当前量子领域人才研究总体较少,直接针对量子信息技术方面的人才研究更为鲜见。

高水平基础研究人才的学术影响力较大,往往可以带动整个领域的发展。充分了解全球量子信息技术领域的人才情况,对于把握未来技术和产业发展趋势,以及制定相应的战略规划和政策支持,具有重要意义。本文将采用全球“高

被引科学家”名单和量子信息技术领域论文数据进行分析,探究这个领域高水平人才的分布特征及研究主题,如国家分布、学科交叉和机构多元化等,并基于分析结果,为制定量子信息技术人才的引进、使用、培养和合作方面政策提出意见和建议,以期支撑我国走向量子信息技术人才强国。

1 研究设计与方法

1.1 研究对象的选择

自2014年开始,科睿唯安(Clarivate Analytics)每年会通过Essential Science Indicators(ESI)发布“高被引科学家”名单,遴选全球最具影响力的科研精英。2018年,“高被引科学家”名单开始新增交叉学科领域。一般而言,高被引科学家是战略科技人才的代表,其发表的科研成果具有很强的原创性和颠覆性,可以被视为引领未来发展方向的重要科技力量^[21]。鉴于量子信息技术领域交叉学科的特点,本文分析了入选2019—2023年ESI“高被引科学家”名单的量子信息技术领域科学家,筛选得到发文量在5篇以上的科学家,作为研究这个领域高水平基础研究人才的对象。

1.2 数据获取及预处理

在论文数据方面,本文使用Web of Science核心库SCI-E、SSCI、A&HCI,获取量子信息技术领域相关论文。检索式从量子通信、量子计算、量子精密测量三大领域着手,围绕相关关键词来构建。数据检索时间为2023年3月4日,语言选择英语(English),文献类型为期刊

论文 (Article), 最终得到量子信息技术领域论文 80 617 篇。

量子通信检索式为 TS=(“quantum bit*” OR “qubit*” OR “quantum communication*” OR “quantum key*” OR “quantum cryptograph*” OR “quantum encryption*” OR “quantum secur*” OR “quantum signature*” OR “quantum teleportation*” OR “quantum network*” OR “quantum internet*” OR “quantum protocol*” OR “quantum switch*”)。

量子计算相关检索式为 TS=(“quantum comput*” OR “quantum informat*” OR “quantum algorithm*” OR “quantum data” OR “quantum machine” OR “quantum software*” OR “quantum processor*” OR “quantum simulation” OR “quantum processor*” OR “quantum chip*” OR “quantum memor*” OR “quantum circuits” OR “quantum device*” OR “quantum entanglement*” OR “quantum code*” OR “quantum counting*”)。

量子精密测量相关检索式: TS=(“quantum metrolog*” OR “quantum measur*” OR “quantum sens*” OR “quantum perceptron*” OR “quantum detector*” OR “quantum clock*” OR “atomic clock*” OR “quantum gravimetry*” OR “atomic interference gravimeter” OR “atomic interferometer*” OR “atomic sensor” OR “optical magnetometer*” OR “atomic gyroscop*” OR “quantum gyroscop*”)。

“高被引科学家”名单和量子信息技术领域论文所提供的数据无法直接对应, 需要进一步对数据进行预处理和匹配。首先, 对科学家及其所属机构的名称进行规范化处理, 以保证科学家的唯一性和隶属机构名称的统一。然后, 将科学家所属机构的国家区域信息加入数据中。最后, 构建科学家及其所属机构的新字段, 用于匹配“高被引科学家”名单和量子信息技术领域论文。

1.3 数据分析方法

在数据预处理和匹配后, 本文采用统计分析方法, 对量子信息技术领域高水平基础研究人才的国家(地区)分布、增长趋势、学科领域分

布、隶属机构等进行研究。同时, 使用文献计量分析方法对量子信息技术领域高水平基础研究人才的研究成果的主题分布、主题趋势、主题地图、合作网络等进行分析。但需要注意的是, 由于部分科学家可能入选两个或更多领域, “高被引科学家”名单和量子信息技术领域论文中的科学家有重复, 因此统计分析时采用人次进行分析。数据统计分析和文献计量分析均使用了 R 语言和 bibliometrix 软件包^[22]。

2 全球量子信息技术高水平基础研究人才分布特征分析

目前, 入选 2019—2023 年的 ESI “高被引科学家”名单且在量子信息技术领域发文 5 篇以上的高水平基础研究人才共有 137 位。这些科学家来自全球 18 个国家或地区, 涉及 80 个机构, 分布在 6 个学科领域。

2.1 国家(地区)分布分析

2022 年, 美国量子信息技术领域高水平基础研究人才数量共有 40 人次, 占比达 44.44%, 远高于全球其他国家。中国量子信息技术领域高水平基础研究人才共有 16 人次, 占比达 17.78%, 位居全球第二。位列前 10 名的国家是德国(6 人次)、日本(6 人次)、奥地利(4 人次)、英国(4 人次)、澳大利亚(2 人次)、瑞士(2 人次)、丹麦(2 人次)、新加坡(1 人次), 见表 1。高水平基础研究人才主要集中在中美两国, 总人次占比达到 62.22%, 顶尖人才的集中度明显。

从 2019—2022 年的年度数据来看, 量子信息技术领域高水平基础研究人才数量在 100 人次左右波动, 2021 年最高达到 104 人次, 而在 2022 年又降到 90 人次。其中, 美国人才数量为 40~45 人次; 中国人次数量略有增长, 2021 年最高增长到 18 人次, 占比呈现上升趋势; 德国人次数量呈现下降趋势, 从 2019 年的 11 人次下降到 2022 年的 6 人次。日本、奥地利、英国、澳大利亚、瑞士的人才数量变化不大。

近 4 年来, 中国进入高被引科学家清单的一共有 21 人。其中, 清华大学有 7 人, 中国科

技大学有3人,北京大学、南京大学和上海交大各有2人,中国科学院、电子科技大学、武汉大学、湖南大学、北京理工大学各有1人。主要研究方向包括量子信息技术、量子光学、量子化学和量子材料等领域。从发文数量来看,中国科技大学的潘建伟、陆朝阳,北京大学的龚旗煌,以及南京大学的肖敏等科学家发文较多。

2.2 学科领域分布分析

综合2019—2022年“全球高被引科学家”名单,发现量子信息技术领域高水平基础研究人才数量大多集中在物理领域,波动幅度为59人至69人次。虽然来自交叉学科领域的人才数量有所增长,从2019年的19人次增加到2021年的28人次,但在2022年又降至19人次。此外,量子信息技术领域的高水平基础研究人才还涉及计算机科学、化学、材料科学、工程学等多个领域。

从学科领域的国家对比分析来看,量子信息

技术领域的高水平基础研究人才主要集中在中美两国,较多集中在物理领域、交叉学科领域,见表3。从表3可以看到,美国高水平人才队伍规模远高于其他国家,约占高被引科学家人数的四成多,处于全球领先地位,主要分布在物理、交叉学科等领域,其中物理领域的高水平人才数量达到53人次,远高于其他国家;交叉学科领域的高水平人才数量达到17人次,位居全球第一。中国的高水平人才全球占比为15%~17%,总体呈现上升趋势,主要分布在交叉学科、物理、化学等领域,其中物理领域的高水平人才达到10人次,位居全球第二,但与美国物理领域人才规模相比,还存在较大差距;交叉学科领域的高水平人才达到12人次,位居全球第二,略低于美国;在化学领域的高水平人才数量略高于美国。此外,德国的高水平人才主要分布在物理和交叉学科,日本的高水平人才主要分布在物理和材料科学领域,奥地利的高水平人才主要分布在物理领域。

表1 2019—2022年量子信息技术领域高水平基础研究人才的国家(地区)排名

排名	国家	2019年		2020年		2021年		2022年	
		人次	占比/%	人次	占比/%	人次	占比/%	人次	占比/%
1	美国	45	46.39	42	47.19	44	42.31	40	44.44
2	中国	15	15.46	14	15.73	18	17.31	16	17.78
3	德国	11	11.34	6	6.74	6	5.77	6	6.67
4	日本	5	5.15	6	6.74	7	6.73	6	6.67
5	奥地利	4	4.12	5	5.62	5	4.81	4	4.44
6	英国	5	5.15	3	3.37	4	3.85	4	4.44
7	澳大利亚	2	2.06	2	2.25	3	2.88	2	2.22
8	瑞士	2	2.06	2	2.25	3	2.88	2	2.22
9	丹麦	1	1.03	1	1.12	3	2.88	2	2.22
10	新加坡	2	2.06	2	2.25	2	1.92	1	1.11
全球总计		97	—	89	—	104	—	90	—

表2 2019—2022年量子信息技术领域高水平基础研究人才的学科领域分布

单位:人次

学科领域	2019年	2020年	2021年	2022年
物理	69	59	68	62
交叉学科	19	22	28	19
计算机科学	3	3	3	4
化学	3	2	2	2
材料科学	2	2	2	2
工程学	1	1	1	1

2.3 隶属机构分布分析

量子信息技术领域的高水平基础研究人才主要集中在大学和研究机构，企业所属高水平人才还不多。高水平基础研究人才分布的 80 家机构中，主要是高校（66 家）和科研机构（10 家）。此外还包括 4 家企业。从机构拥有的高水平基础研究人才数量来看，哈佛大学排名第一，拥有 11 位；清华大学排名第二，拥有 7 位；麻省理工学院、加利福尼亚大学圣芭芭拉分校排名第三，各拥有 5 位。加利福尼亚理工学院、斯坦福大学、耶鲁大学、奥地利科学院、中国科学技术大学等机构的高水平基础研究人才数量在 3 位及以上，见表 4。

量子信息技术领域拥有高水平基础研究人才的企业较少，大多为美国科技巨头，如谷歌公司（3 位）、微软公司（1 位）、IBM 公司（1 位），

还有英国的元素六公司（1 位）。美英企业拥有高水平人才主要有两条路径：一是从高校引进高水平人才，如加利福尼亚大学圣芭芭拉分校 John Martinis 加入谷歌量子人工智能实验室、哥本哈根大学 Charles M. Marcus 加入微软公司人工智能研究小组；二是企业自己培养的高水平人才，如 IBM 公司的 Jay M. Gambetta、元素六公司的 Matthew Markham。

3 全球量子信息技术高水平基础研究人才研究主题分析

3.1 论文指标对比分析

高水平基础研究人才的论文研究内容一般属于这个学科的重点基础研究领域。量子信息技术领域 137 位高水平基础研究人才发表的相关论文有 3 175 篇，约占这个领域论文总量 80 617 篇的

表 3 量子信息技术领域主要国家的高水平基础研究人才的学科领域分布

单位：人次

序号	学科	美国	中国	德国	日本	奥地利	英国	澳大利亚	瑞士	丹麦	新加坡
1	物理	53	10	7	5	8	6	0	3	2	1
2	交叉学科	17	12	6	0	0	1	1	0	3	2
3	计算机科学	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
4	化学	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
5	材料科学	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
6	工程学	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

表 4 量子信息技术领域主要国家的高水平基础研究人才数量较多的机构

序号	机构	所属国家	人才数量/位
1	哈佛大学	美国	11
2	清华大学	中国	7
3	麻省理工学院	美国	5
4	加利福尼亚大学圣芭芭拉分校	美国	5
5	加利福尼亚理工学院	美国	4
6	斯坦福大学	美国	4
7	耶鲁大学	美国	4
8	奥地利科学院	奥地利	3
9	中国科学技术大学	中国	3
10	代尔夫特理工大学	荷兰	3
11	谷歌公司	美国	3
12	马普学会	德国	3
13	普林斯顿大学	美国	3
14	加利福尼亚大学伯克利分校	美国	3
15	因斯布鲁克大学	奥地利	3

3.94%，如表5所示。近年来，高水平基础研究人才的论文年增长率、国际合作率、篇均作者数量、篇均被引次数等指标均显著高于该领域的评价水平。这一结果表明，高水平基础研究人才更加注重国际合作和大团队合作，并具有显著的高影响力。同时，观察到跨机构、跨国家的大范围合作网络也在逐步形成，为量子信息技术领域的发展注入了新动力。

具体而言，高水平基础研究人才相关论文的年增长率为16.44%，高于量子信息技术领域的6.32%；高水平基础研究人才相关论文高度重视国际合作，论文的国际合作率高达61.76%，远高于领域整体水平31.28%；高水平基础研究人才高度重视与更多的研究人员合作开展研究，论文篇均作者达到7.78位，比领域的平均水平4.12位多出近4位；高水平基础研究人才相关论文篇均被引次数达到79.21次，远高于储能领域的平均水平29.65次，研究成果具有更高的学术影响力。

从期刊来源来看，高水平基础研究人才的论文较多发表在《Physical Review A》《Physical

Review Letters》《Physical Review B》《Nature》《New Journal of Physics》《Nature Communications》等期刊上，见表6。《Physical Review A》发文量最多，达到471篇；其次是《Physical Review Letters》，发文量达到445篇。高水平基础研究人才通常选择影响因子、汤森路透JCR分区等指标较高的期刊发表论文，但也会选择《Physical Review A》《Physical Review B》《New Journal of Physics》等期刊指标并不突出的期刊发表论文。这些期刊的办刊国家主要为美国、英国，我国主办期刊的高水平基础研究人才的发文数量还较少。

3.2 论文主题分析

根据论文中的关键词，构建量子信息技术领域高水平基础研究人才相关论文研究的主题图，见图1。图1显示了论文中关键词出现的次数及它们之间的关联程度。点的大小代表论文数量，圆形所在位置代表对应的研究主题。相关研究大致可以分为五大主题：①量子态研究（图中间部分），包括量子比特、原子、量子相干、量子

表5 量子信息技术领域论文及高水平基础研究人才发表论文的分析

序号	论文指标	量子信息技术领域论文	量子信息技术领域高水平基础研究人才相关论文
1	论文数量/篇	80 617	3 175
2	论文年增长率/%	6.32	16.44
3	期刊来源/个	3 157	235
4	国际合作率/%	31.28	61.76
5	篇均作者数量/位	4.12	7.78
6	篇均被引次数/次	29.65	79.21

表6 量子信息技术领域高水平基础研究人才发表论文的期刊来源

序号	论文来源期刊	论文数量/篇	2022年影响因子	汤森路透JCR分区	中科院分区
1	Physical Review A	471	2.971	Q2	物理与天体物理2区
2	Physical Review Letters	445	9.185	Q1	物理与天体物理1区
3	Physical Review B	214	3.908	Q2	物理与天体物理2区
4	Nature	125	69.504	Q1	综合性期刊1区
5	New Journal of Physics	123	3.155	Q2	物理与天体物理2区
6	Nature Communications	116	17.694	Q1	综合性期刊1区
7	Nature Physics	87	19.684	Q1	物理与天体物理1区
8	Nano Letters	82	12.262	Q1	材料科学1区
9	Physical Review X	82	14.417	Q1	物理与天体物理1区
10	NPJ Quantum Information	79	10.758	Q1	物理与天体物理1区

平基础研究人才相关论文近期关注的热点包括分子束外延、量子束缚态、量子优越性、超导性、重整化群、量子自旋、量子比特等，如图3所示。其中，分子束外延与半导体相关，研究主要包括半导体—超导纳米线分子束外延可控制备、PbTe—Pb混合纳米线的制备和数值模拟、InAs和InSb表面的电子结构分析、混合纳米线表面积聚

层中的安德烈夫干扰研究等；量子束缚态的研究主要包括异常点的自发发射增强的验证、有序和可调控的马约拉纳零能模格点阵列、锰/铌(110)中反铁磁性和超导性的共存、非微扰波导量子电动力学、超导库仑能隙中的激发反应等；量子优越性的研究主要包括60量子比特24周期随机电路采样的量子计算优势、50个光子玻色取样的基

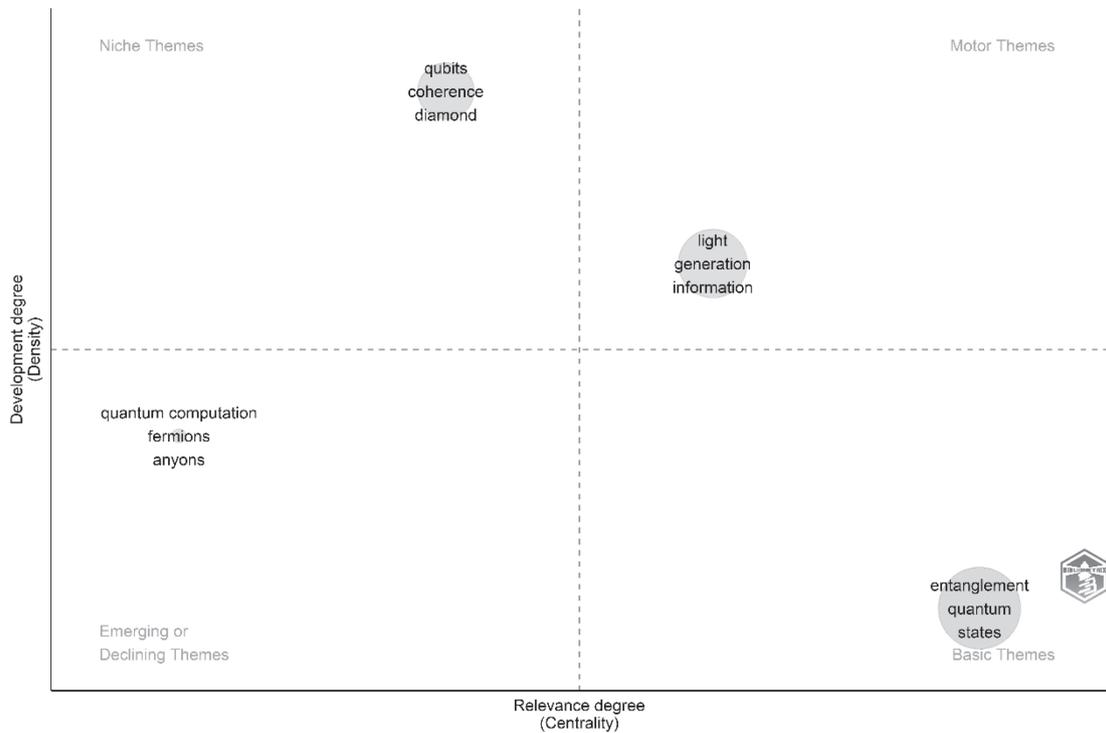


图2 高水平基础研究人才相关论文的主题地图

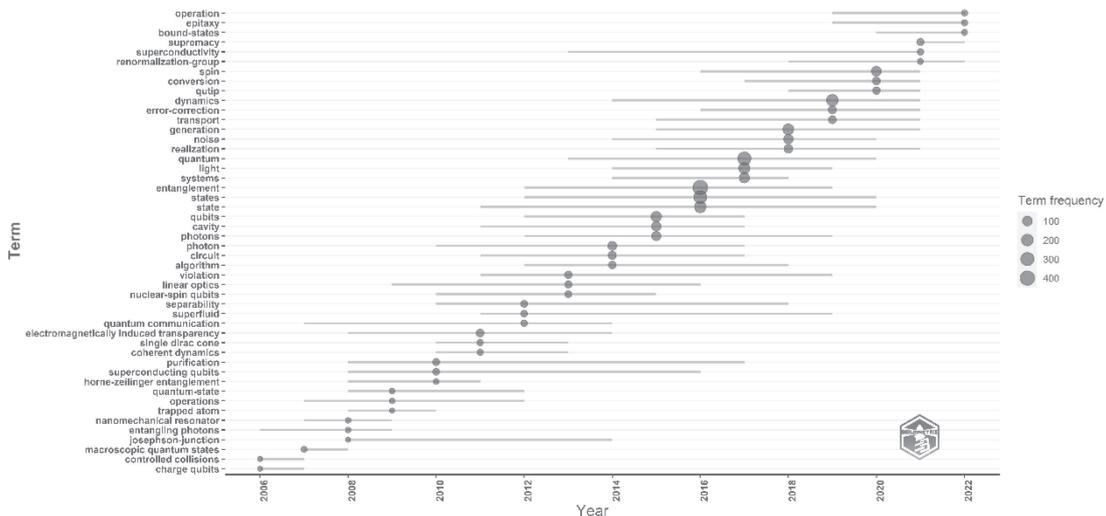


图3 高水平基础研究人才相关论文的主题趋势

准测试、50 量子比特的量子电路群的随机性估计、可调耦合超导量子比特中实现全微波脉冲的 CZ 门等；超导性的研究主要包括掺杂绝缘体中激子效应产生的自旋三联体超导性、高 TC 超导体中量子相变的高谐波光谱分析、双层石墨烯中的门控电子干涉仪等。同时，电荷量子比特、受控碰撞、宏观量子态、纠缠光子、纳米力学谐振器等相关主题的研究出现减少。

3.3 论文合作分析

合作是科学研究的重要组成部分，广泛的交流合作是未来知识生产的主流模式。通过论文中的作者共现来识别合作关系，构建合作网络图谱，如图 4 所示。节点为作者，节点越大表示这位作者发文数量越高；边为作者合作，边越宽表示连接的两个作者之间的合作论文数量越多。

量子信息技术领域高水平基础研究人才十分重视合作，较多与所在机构或国家的科学家开展合作，见表 7。潘建伟、陆朝阳、张强等来自中国科学技术大学的科学家形成密切的合作网络，高水平人才发文数量达到 354 篇，并与来自

奥地利科学院的 Anton Zeilinger 教授建立密切合作。John Martinis、Andrew Cleland、J Wenner 等来自加利福尼亚大学圣芭芭拉分校的科学家合作密切，高水平人才发文数量达到 255 篇，与谷歌公司的 Pedram Roushan、Daniel Sank 等以及芝加哥大学的 David Awschalom 形成密切合作网络。Michel H Devoret、Steven Girvin、Luigi Frunzio、Robert J Schoelkopf 等来自耶鲁大学的科学家合作密切，高水平人才发文数量达到 152 篇，并与芝加哥大学的蒋良教授开展合作。

此外，也有一些高水平基础研究人才开展广泛的跨机构、跨国合作，如西班牙光子科学研究所 Maciej Lewenstein、奥地利因斯布鲁克大学 Peter Zoller 和 Rainer Blatt、哈佛大学 Mikhail D. Lukin、马普学会 Ignacio Cirac、麻省理工学院 Dirk Englund 等建立了跨多个机构的合作网络。

4 研究结论和建议

量子信息技术是一种颠覆性的未来产业技术，有望成为新一轮科技革命和产业变革的关键

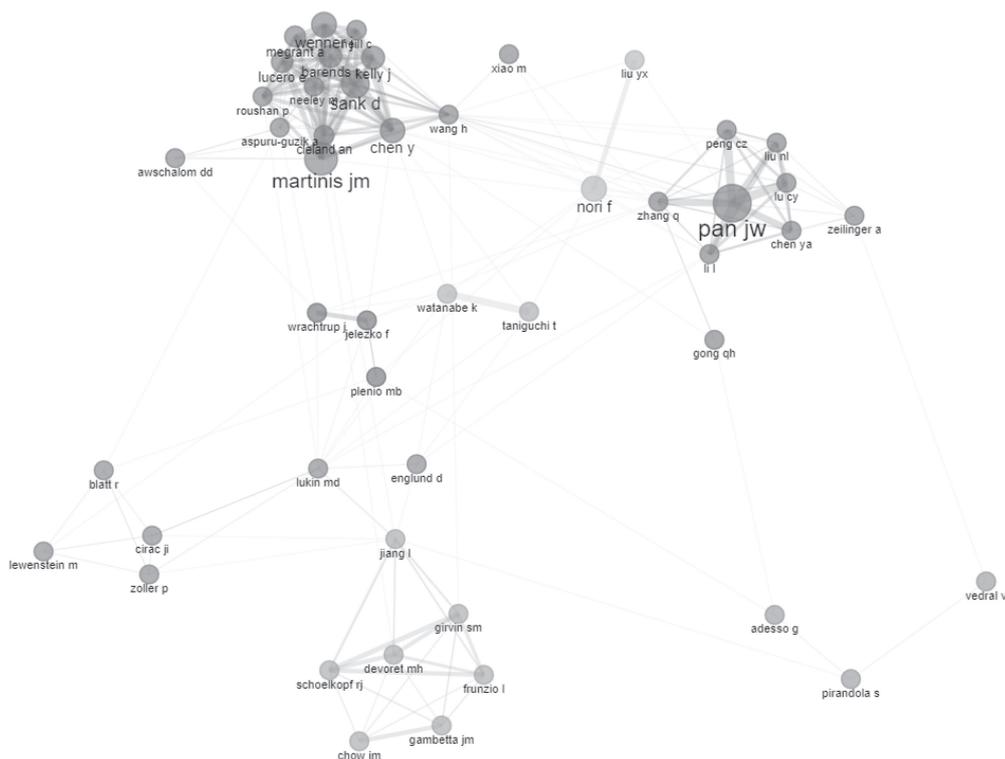


图 4 高水平基础研究人才的合作网络

表7 量子信息技术领域高水平基础研究人才隶属机构的发文分析

序号	机构	所属国家	高水平基础研究人才发文数量/篇
1	中国科学技术大学	中国	354
2	日本理化学研究所	日本	303
3	哈佛大学	美国	290
4	加利福尼亚大学圣芭芭拉分校	美国	240
5	耶鲁大学	美国	152
6	日本国立材料研究所	日本	144
6	乌尔姆大学	德国	141
7	麻省理工学院	美国	130
8	奥地利科学院	奥地利	126
9	芝加哥大学	美国	106
10	因斯布鲁克大学	奥地利	105

领域。本文以R语言和bibliometrix为分析工具,通过文献计量分析方法,对全球量子信息技术领域的人才分布特征、研究主题进行了分析和总结。鉴于本文的分析研究,针对我国量子信息领域发展现状提出几点建议。

(1) 建设量子信息领域国际化开放合作的平台。欧美各国都加大对量子信息领域的投入和布局,纷纷建设高水平的研发中心和创新实验室,对于吸引高水平的人才起到了极为重要的作用。我国有举国体制的优势,在寻找好技术路径的前提下,可以集中力量建设几个国际化量子信息领域的开放合作平台,吸引国内外量子信息领域高水平的人才来参与量子信息技术平台的建设和开展合作研究。

(2) 完善量子信息领域高水平人才引进培养机制。作为引领新一代产业技术革命的前沿领域,量子信息领域的人才具备多学科、多层次和稀缺化等特点,高校在设置量子领域学科的同时,要注重对学生的多学科基础知识的学习和培养。由于这个领域理论研究和实际产业应用之间非常紧密,我们在培养高水平的理论研究人才的同时,要重视成果转化和技术应用方面的人才队伍建设。目前,量子信息领域还处于起步阶段,尚未形成技术壁垒和寡头论断,开放合作仍然是主流^[23]。我们应该在做好自主培养该领域人才的同时,坚持开放合作,进一步加强人才的引进、

交流和合作。

(3) 引进和培养量子信息领域企业高水平人才。目前,我国量子信息领域高水平的人才主要来自高校和研究机构,在我们研究的高被引科学家中只有来自美英科技巨头的几位科学家,我国还没有来自企业的高被引科学家。我国阿里、百度、腾讯和华为等科技巨头企业也应尽早布局,引进或培养企业自身的高水平的量子信息领域的人才。

(4) 逐步培育量子信息领域相关产业生态环境。量子信息领域产业生态的建设需要政府、高校、科研机构和企业等方面的协同推进,政府除了给予政策和稳定的经费支持之外,还要组织和搭建研究的平台,扶持初创量子信息技术企业的发展。高校和科研机构提供最新的学术和技术成果,并推动科技成果转移转化。企业特别是科技互联网巨头要加大对量子信息技术基础研究的投入和高水平人才的引进和培养。

参考文献

- [1] GILL S S, KUMAR A, SINGH H, et al. Quantum computing: a taxonomy, systematic review and future directions [J]. Software: practice and experience, 2022, 52(1): 66-114.
- [2] 郭光灿, 张昊, 王琴. 量子信息技术发展概况 [J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2017(6): 1-14.

(下转第71页)

- [11] 王欣, 刘小溪, 刘夏, 等. 新形势下“科技查新+”服务模式探讨[J]. 现代情报, 2017, 37(12): 79-83.
- [12] 陈峰, 胡颖堃. 基于技术尽职调查的科技查新服务模式研究[J]. 情报杂志, 2021, 40(11): 129-135.
- [13] 胡颖堃, 陈峰. 专业查新机构开展科技查新服务的调查分析[J]. 中国科技资源导刊, 2021, 53(1): 60-68.
- [14] 刘海波, 李耀鑫, 侯亚丽, 等. 浅析中英葡萄酒标准指标比对[J]. 中国标准化, 2021(11): 199-206.
- [15] 张倩楠, 康菲, 李小燕, 等. 浅析中蒙煤炭工业分析标准指标比对[J]. 中国标准化, 2021(7): 174-178.
- [16] LI Jing, QIU Wenlun, YANG Lifei. Comparison and analysis of important product standards and technical indicator systems in the papermaking field—taking facial tissue as an example[J]. IOP conference series: earth and environmental science, 2021, 728(1): 012012.
- [17] 姚灵, 罗新元, 王欣欣. 水表产品标准关键性能指标的分析与探讨[J]. 工业计量, 2021, 31(4): 22-26.
- [18] 河北省标准文献共享服务平台[EB/OL]. [2022-09-01]. <http://www.bzsb.info/>.
- [19] 中国标准化研究院. 标准信息研究所标准化服务导引[EB/OL]. [2022-09-01]. https://www.cnis.ac.cn/ynbm/bzqbyjs/bzhfwdy/201812/t20181226_18178.html.
- [20] 张露双, 蒙玉刚. 维生素D对多囊卵巢综合征代谢及内分泌指标影响的Meta分析[J]. 广西医科大学学报, 2019, 36(5): 779-785.

(上接第48页)

- [3] 中国信息通信研究院. 量子信息技术发展与应用(2022)[R]. 北京: 中国信息通信研究院, 2022: 1-2
- [4] ARAKAWA Y, HOLMES M J. Progress in quantum-dot single photon sources for quantum information technologies: a broad spectrum overview[J]. Applied physics reviews, 2020, 7(2): 1-13.
- [5] DE FORGES DE PARNY L, ALIBART O, DEBAUD J, et al. Satellite-based quantum information networks: use cases, architecture, and roadmap[J]. Communications physics, 2023, 6(1): 12.
- [6] 郭光灿. 量子信息技术研究现状与未来[J]. 中国科学: 信息科学, 2020(9): 1395-1406.
- [7] MONROE C, RAYMER M G, TAYLOR J. The US national quantum initiative: from act to action[J]. Science, 2019, 364(6439): 440-442.
- [8] 高芳, 徐峰. 全球量子信息技术最新进展及对中国的启示[J]. 中国科技论坛, 2017(6): 164-170.
- [9] 叶珍珍, 范琼, 汤书昆. 欧美量子科技政策及其背后相关科学家分析[J]. 世界科技研究与发展, 2021(2): 77-88.
- [10] 邹丽雪, 刘艳丽, 董瑜, 等. 量子科技创新战略研究[J]. 世界科技研究与发展, 2022, 44(2): 145-156.
- [11] 陈云伟, 曹玲静, 陶诚, 等. 科技强国面向未来的科技战略布局特点分析[J]. 世界科技研究与发展, 2020, 42(1): 5-37.
- [12] 丁兆君. 量子信息科技在中国的发展: 以中国科学技术大学为例[J]. 自然科学史研究, 2019, 38(4): 394-404.
- [13] 隋新宇. 美国发布《国际人才在量子信息科学中的作用》强调平衡开放创新和技术保护[J]. 科技中国, 2022(5): 99-101.
- [14] 张翼燕. 全球量子人才政策研究[J]. 全球科技经济瞭望, 2022(9): 1-7.
- [15] 田芬. 美国量子人才战略举措、特征与挑战[J]. 科技管理研究, 2023, 43(12): 31-40.
- [16] AIELLO C D, AWSCHALOM D D, BERNIEN H, et al. Achieving a quantum smart workforce[J]. Quantum science and technology, 2021, 6(3): 030501.
- [17] 曹远龙, 曾历, 刘清华, 等. “互联网+量子技术”复合型人才培养模式研究[J]. 计算机教育, 2019(9): 80-83.
- [18] 郑海荣, 李高峰, 李贵安. 面向拔尖创新人才培养的教材编写创新与实践[J]. 当代教师教育, 2020(9): 74-78.
- [19] 张成园, 丁勇, 王军平, 等. 应用型人才培养模式下基于OBE理念的量子力学教学设计与实践[J]. 现代职业教育, 2022(3): 43-45.
- [20] 王子武, 李伟萍. 创新人才培养模式下的量子力学教学改革[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2017(1): 174-175.
- [21] 王超, 马铭, 许海云, 等. 中美高水平基础研究人才对比研究: 基于ESI高被引科学家数据分析[J]. 中国科技论坛, 2021(12): 169-181.
- [22] DERVIŞ H. Bibliometric analysis using bibliometric an R package[J]. Journal of scientometric research, 2019, 8(3): 156-160.
- [23] 中国信息通信研究院. 量子信息技术发展与应用(2019)[R]. 北京: 中国信息通信研究院, 2019: 45-46.