

基于文献计量学的国际先进计量机构 2023 年研究热点分析



吴燕晨, 商学琴, 李晓萌, 张宇, 范雯*

中国计量科学研究院, 北京 100029

【摘要】 当前, 科技创新成为国际战略博弈的主战场, 计量是国家科技创新、产业发展、国防建设、民生保障的重要基础, 基于科技文献对全球计量科学的研究现状进行梳理分析, 明确相关研究热点与趋势, 对前瞻洞察和把握国际计量科学研究的发展方向具有重要意义。聚焦美国国家标准与技术研究院(NIST)、中国计量科学研究院(NIM)、英国国家物理研究院(NPL)、德国联邦物理技术研究院(PTB)等 8 个国际先进计量机构, 基于这些机构 Web of Science(WOS)平台 2023 年的科技文献数据, 采用文献计量、可视化知识图谱等方法, 从文献产出数量、期刊分布、研究主题热点、国际合作关系等多个维度进行定量分析, 揭示全球计量领域 2023 年总体研究现状与热点研究内容, 并选择量子信息、健康与生命科学两个热点领域进行专题分析, 描绘该领域的 2023 年研究现状及学科发展概貌。最后, 得出结论, 以期对洞察全球计量科研动向、明确我国计量科学未来的研究重点与发展方向提供借鉴和参考。

【关键词】 计量学; 文献计量学; 计量科技创新; 科技文献; 量子信息; 健康与生命科学

【中图分类号】 TB9

【文献标识码】 A

【文章编号】 2096-9015(2024)06-0055-09

DOI: 10.12338/j.issn.2096-9015.2024.0131

【引用本文】 吴燕晨, 商学琴, 李晓萌, 等. 基于文献计量学的国际先进计量机构 2023 年研究热点分析 [J]. 计量科学与技术, 2024, 68(6): 55-63.

Analysis of Research Hotspots in International Advanced Metrology Institutions in 2023 Based on Bibliometrics

WU Yanchen, SHANG Xueshen, LI Xiaomeng, ZHANG Yu, FAN Wen

National Institute of Metrology, Beijing 100029, China

Corresponding author: FAN Wen, Email: fanwen@nim.ac.cn

【Abstract】 Currently, technological innovation has become the main battleground of international strategic competition, and metrology is an essential foundation for national technological innovation, industrial development, national defense construction, and people's livelihood. Reviewing and analyzing the research status of global metrology science based on scientific literature and identifying relevant research hotspots and trends are of great significance for gaining forward-looking insights and grasping the development direction of international metrology science research. Focusing on eight international advanced metrology institutions, including the National Institute of Standards and Technology (NIST), the National Institute of Metrology, China (NIM), the National Physical Laboratory (NPL), and the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), this article uses bibliometrics, visual knowledge graphs, and other methods to quantitatively analyze the overall research status and hot research content in the global metrology field in 2023 based on the scientific literature data of these institutions on the Web of Science (WOS) platform. The analysis is conducted from multiple dimensions, such as literature output, journal distribution, research topic hotspots, and international cooperation. Quantum information, health, and life sciences are selected as two hot fields for focused analysis, describing their research status and overall development

收稿日期: 2024-04-18; 修回日期: 2024-05-09

基金项目: 中国计量科学研究院基本科研业务费课题(AKYCX2217); 国家重点研发计划(2023YFF0616000)。

作者简介: 吴燕晨(1989-), 中国计量科学研究院馆员, 研究方向: 文献计量、文献信息情报分析, 邮箱: wuyc@nim.ac.cn; 通讯作者: 范雯(1984-), 中国计量科学研究院副研究员, 研究方向: 计量战略研究、现代先进测量体系研究等; 邮箱: fanwen@nim.ac.cn。

in 2023. Finally, conclusions are drawn to provide insights into global trends in metrology research and to clarify the future research priorities and development directions of metrology science in China.

【Key words】 metrology, bibliometrics, metrology innovation, scientific literature, quantum information, health and life sciences

0 引言

计量是实现单位统一、保证量值准确可靠的活动,是关于测量及其应用的科学,也是科技创新、产业发展、国防建设、民生保障的重要基础^[1]。当前,科技创新成为国际战略博弈的主战场,国际科技竞争形势日趋严峻,各国不断加大对先进测量技术、测量装备的研发投入,并通过出台发布政策和战略计划加强基础设施建设,推动技术创新,以谋求新一轮全球竞争中的优势地位,如:英国发布了2017—2020年《国家计量战略实施计划》;美国发布了2022版《国家先进制造业战略》,强调了先进测量和测试技术在制造业中的重要性;欧洲计量组织(EURAMET)向欧盟委员会就新的“欧洲地平线”项目提出重要提案,建议在竞争激烈的新兴地区建立可持续发展的欧洲计量网络等。科学研究范式正在发生深刻变革,计量科技创新前沿不断交叉融合与衍生突破^[2-4]。

科技文献是人类从事科学技术研究活动的真实记录,蕴含人类的智慧,反映科技发展的过程^[5],是科学研究和技术创新成果的重要载体之一,也是衡量国家或机构科研和技术研发实力的重要依据^[6]。在计量科技创新的过程中,基于科技文献对全球计量科学的研究现状进行梳理和分析,能够较为客观、准确地反映相关研究热点与趋势,在一定程度上前瞻洞察和把握国际计量科学研究的发展方向^[7]。

因此,本文聚焦美国国家标准与技术研究院(NIST)、中国计量科学研究院(NIM)、英国国家物理研究院(NPL)、英国政府化学实验室(LGC)、德国联邦物理技术研究院(PTB)、德国联邦材料研究所(BAM)、日本国家计量研究所(NMIJ)、韩国标准与科学研究院(KRISS)共8个国际先进计量机构,基于这些机构Web of Science(WOS)平台2023年的科技文献数据,采用文献计量、可视化知识图谱等方法,从产出数量、期刊分布、研究主题热点、国际合作关系等多个维度进行定量分析,揭示全球计量领域2023年总体研究现状与热点研究内容,并选择量子信息、健康与生命科学两个热点领域进行专题分析,描绘该领域的2023年的研究现状及学科发

展概貌。最后,本文提出了相应建议,以期洞察全球计量科研动向、明确我国计量科学未来的研究重点与发展方向提供借鉴和参考。

1 研究方法

本文采用文献计量、可视化知识图谱等方法从多个维度对国际先进计量机构论文产出进行定量分析。

数据来源与采集: 本文基于WOS平台,对SCIE收录的NIST、NIM、NPL、LGC、PTB、BAM、NMIJ、KRISS共8个国际先进计量机构的2023年度产出论文进行检索,文献类型: article、review和letters,检索时间:2024年4月8日,共检索到论文2737篇,对论文进行去重、去噪等处理后,共得到论文2678篇,作为本文的数据集。

数据分析: 本文采用文献计量学的方法,利用文献计量分析软件VOSViewer对所选文献数据进行量化分析与可视化展示,从产出数量、期刊分布、研究主题热点、国际合作关系等多个维度对产出论文进行分析,揭示其数量特征和内在规律。

本文中涉及到的主要分析指标主要有: 论文被引频次、论文篇均被引频次、学科规范化引文影响力(CNCI)、JCR分区、文献聚类主题等。

2 国际先进计量机构总体科研产出分析

2.1 总体发文情况

2023年,8个国际先进计量机构共产出论文2678篇,其中NIST发文最多,为1126篇文章,其次是KRISS发文339篇、PTB发文331篇、NIM发文311篇、NPL发文263篇、BAM发文186篇、NMIJ发文149篇、LGC发文32篇,如图1所示。

2.2 发文期刊

2023年,国际先进计量机构发表的2678篇论文分布在797个期刊中,发文量最多的3个期刊分别是:METROLOGIA(48篇)、PHYSICAL REVIEW B(45篇)、PHYSICAL REVIEW A(43篇),表1列出发文量前10的期刊,中科院分区大类以物理与天体物理、工程技术为主。

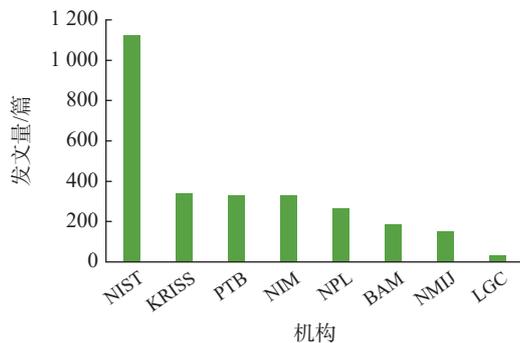


图 1 各机构总体发文情况

Fig.1 Overall publication of articles by institutions

表 1 发文期刊统计 (前 10 位)

Tab.1 Statistics of published journals (Top 10)

排名	期刊名称	中科院分区大类	论文数(篇)	占比
1	METROLOGIA	工程技术	48	1.79%
2	PHYSICAL REVIEW B	物理与天体物理	45	1.68%
3	PHYSICAL REVIEW A	物理与天体物理	43	1.61%
4	PHYSICAL REVIEW LETTERS	物理与天体物理	37	1.38%
5	OPTICS EXPRESS	物理与天体物理	36	1.34%
6	SCIENTIFIC REPORTS	综合性期刊	32	1.19%
7	NATURE COMMUNICATIONS	综合性期刊	32	1.19%
8	MEASUREMENT	工程技术	29	1.08%
9	IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT	工程技术	29	1.08%
10	MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY	工程技术	26	0.97%

图 2 中列出了发文章量前 10 的期刊(行),以及各机构发文章数量情况(列)。其中, NIST 在 PHYSICAL

REVIEW A 发文章 34 篇,在各机构单期刊中发文章最多。

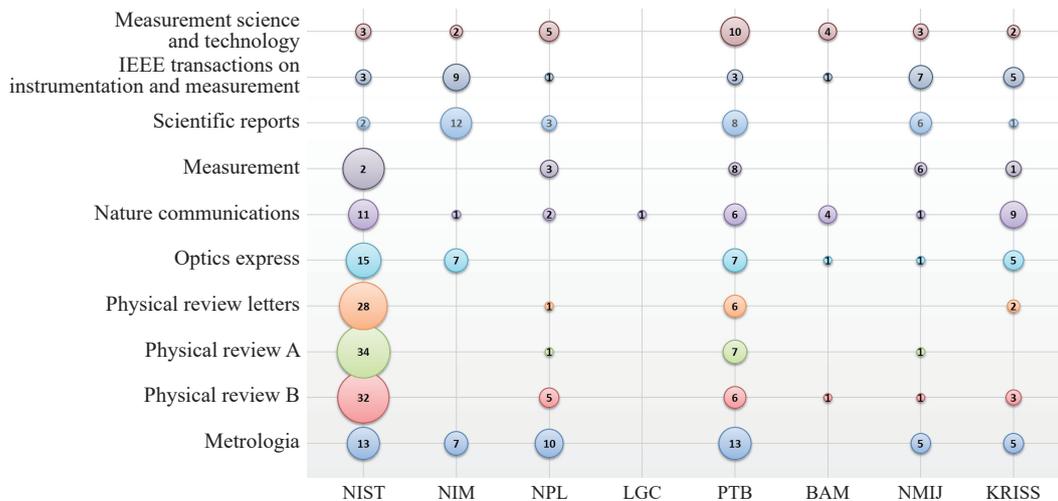


图 2 发文章期刊气泡图 (前 10 位)

Fig.2 Bubble map of published journals (Top 10)

2.3 Nature、Science 发文情况

Nature、Science 是国际公认的享有最高学术声誉的顶级期刊,发表在其上的论文代表着该领域的最新研究成果与重大进展,有着很高的学术影响力。

2023 年,国际先进计量机构在 Nature、Science 发文 22 篇,其中, Nature 发文 18 篇, Science 发文 4 篇。为了进一步对研究方向进行分析,本文依据科睿唯安 Citation Topics 学科分类体系对论文进行聚类分析。Citation Topics 提供了 Macro(10 个)、Meso(326 个)和 Micro(2444 个)主题的三级层次结

构,通过分析已发表论文的相互引用关系,利用算法将相关文献汇聚到一起,形成离散的相关文献集群^[8]。22 篇 Nature、Science 分布在 10 个中观引文主题(Citation Topics Meso)中,图 3 是分布图。由图 3 可见,在顶级期刊中,量子力学、物理化学、超导科学三个主题的发文章量最多,这代表 2023 年在这些领域内,相关研究获得了重要突破或重大研究成果,这在一定程度上反映了国际先进计量机构在相关研究领域和方向上的侧重与投入。

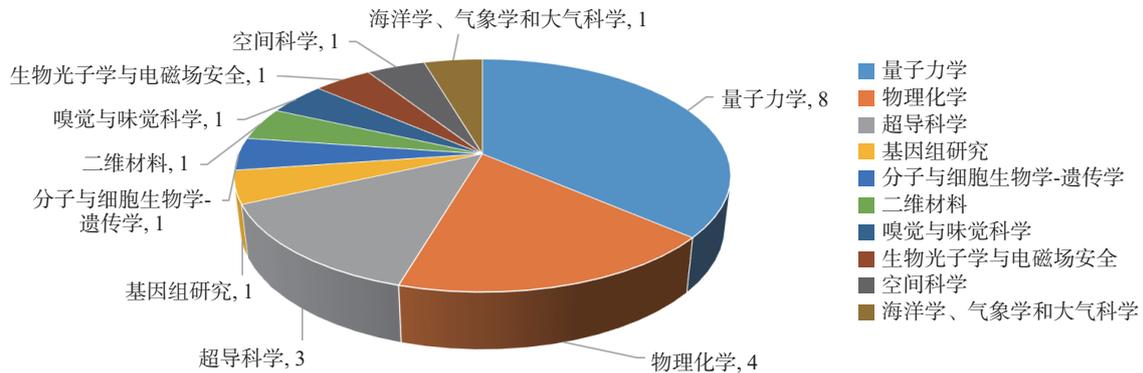


图 3 Nature、Science 论文的中观引文主题分布图

Fig.3 Distribution of Citation Topics Meso in Nature and Science papers

2.4 国际先进计量机构间合作情况

发文机构是指作者所在的单位,通过分析国际先进计量机构间的发文合作关系,可以进一步反映出国际先进计量科研单位间的科研合作情况^[9]。

图 4 为利用 VOSviewer 软件生成机构间合作关系可视化图,通过参数调节选择发文章量 20 篇及以上的机构(共计 56 个机构)进行合作关系分析,图 4 中圆圈表示文章署名的一级机构名称节点,节点间的连线表示不同机构间的合作关系^[10]。可以看出,国际先进计量机构的合作网络辐射全球,呈现出与高校合作为主,与各科研机构合作为辅,而各国际先进计量机构间形成了一定规模的合作网络,合作对象辐射全球,呈现出与高校合作为主,与各科研机构合作为辅,而各国际先进计量机构间合作相对较少的特点,8 个机构之间共有 47 篇合作论文。

对国际先进计量机构间合作的 47 篇论文进行分析,其中,两个机构合作论文 40 篇,三个机构合作论文 4 篇,四个机构合作论文 2 篇,六个机构合作论文 1 篇。对两个国际先进计量机构合作的 40 篇论文进行分析,如图 5 所示,可以看出, NIST 的主要合

作机构为 PTB(11 篇)、NIM(4 篇)、NPL(1 篇), NIM 的主要合作机构为 NIST(4 篇)、NPL(2 篇)、PTB(1 篇), NPL 的主要合作机构为 PTB(9 篇)、NIM(2 篇)、NIST(1 篇)、NMIJ(1 篇)、KRISS(1 篇), LGC 的主要合作机构为 PTB(2 篇), PTB 的主要合作机构为 NIST(11 篇)、NPL(9 篇)、BAM(7 篇)、LGC(2 篇)、NIM(1 篇)、KRISS(1 篇), BAM 的主要合作机构为 PTB(7 篇), NMIJ 的主要合作机构为 NPL(1 篇), KRISS 的主要合作机构为 NPL(1 篇)、PTB(1 篇)。

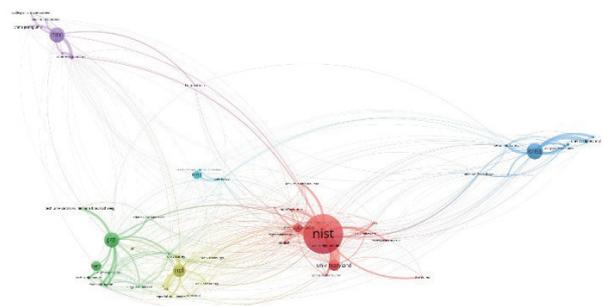


图 4 机构间合作关系可视化图

Fig.4 Visualization of inter-agency partnerships

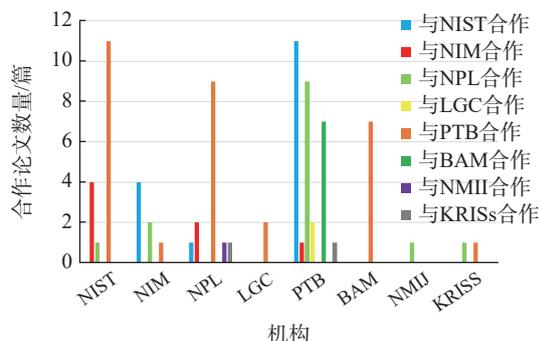


图 5 国际先进计量机构间合作论文数量分布图
Fig.5 Distribution of the number of collaborative papers among international advanced metrology institutions

2.5 研究学科和热点分析

为了进一步对计量领域研究方向进行分析,利用 VOSviewer 软件对 8 个国际先进计量机构 2023

年产出论文的学科领域进行 WOS 学科学科聚类分析,2678 篇论文分布在 149 个 WOS 学科领域中,排名前 10 位的 WOS 学科分别为:材料科学,应用物理,仪器仪表,化学物理,化学,纳米科学与纳米技术,光学,工程、电气和电子,分析化学,物理,如表 2 所示。

为了进一步对研究方向与研究热点进行细分,对 8 个国际先进计量机构产出的论文依据中观引文主题(Citation Topics Meso)进行聚类分析,2678 篇产出论文分布在 217 个中观引文主题中。图 6 为排名前 10 位的中观引文主题,分别为:量子力学(187 篇)、仪器(108 篇)、超导科学(76 篇)、冶金工程(74 篇)、物理化学(61 篇)、二维材料(61 篇)、电化学(60 篇)、电磁学(52 篇)、无线技术(50 篇)、核物理学(50 篇)。

表 2 论文产出学科领域统计 (前 10 位)

Tab.2 Statistics of paper output in different research areas (Top 10)

排名	学科领域(英)	学科领域(中)	论文数(篇)	占比
1	Materials Science Multidisciplinary	材料科学	541	20.20%
2	Physics Applied	应用物理	499	18.63%
3	Instruments Instrumentation	仪器仪表	289	10.79%
4	Chemistry Physical	化学物理	267	9.97%
5	Chemistry Multidisciplinary	化学	258	9.63%
6	Nanoscience Nanotechnology	纳米科学与纳米技术	229	8.55%
7	Optics	光学	228	8.51%
8	Engineering Electrical Electronic	工程、电气和电子	195	7.28%
9	Chemistry Analytical	分析化学	168	6.27%
10	Physics Multidisciplinary	物理	147	5.49%



图 6 中观引文主题 (Citation Topics Meso) 分布图
Fig.6 Distribution of the Citation Topics Meso

由此可见,2023 年,全球计量领域研究热点集中在量子信息、健康与生命科学、新材料、半导体、人工智能等领域。本文选取量子信息、健康与生命科学两个专题领域进行深入分析。

3 量子信息领域

量子是近原子尺度的微观粒子系统,如光子、电子、离子等,及粒子中蕴含的各类物理量,是不可分割的最小单位。量子信息技术通过对光子、电子和冷原子等微观粒子系统及其量子态进行精确的人工调控和观测,借助量子叠加和量子纠缠等独特物理现象,以经典理论无法实现的方式获取、传输和处理信息^[11]。量子信息主要包括量子计算、量子通信及量子精密测量三大发展方向。

面对日趋激烈的国际竞争,量子信息领域已经成为全球科技竞争的战略要地,世界主要国家已将量子信息技术上升到国家战略层面并高度重视。各国不断加大资金投入和政策支持,在基础研究、试

验验证以及技术应用等方面开展研究。2023年,美国、欧盟、英国、韩国、加拿大、澳大利亚等国家或地区纷纷启动了国家级量子科技战略行动计划,大幅增加研发投入,同时开展顶层规划及研究应用布局^[12],中国同样将量子信息技术视为未来科技创新的发展重点之一。

本文将对国际先进计量机构(NIST、NIM、NPL、PTB、NMIJ、KRISS等)在量子信息领域的发文情况及研究进展等进行分析。

3.1 发文情况总体分析

2023年,国际先进计量机构共产出量子信息技术相关文献323篇,见表3,其中NIST发文最多,有208篇文章,其次是KRISS发文35篇、PTB发文28篇、NIM发文22篇、NPL发文16篇、NMIJ发文14篇。

表3 2023年量子信息领域发文情况

Tab.3 Statistics of the number of papers in quantum information in 2023

机构	量子信息领域 发文量(篇)	总发文 量(篇)	占总发文 量比例	被引 频次	篇均 被引
NIST	208	1126	18.47%	487	2.34
KRISS	35	339	10.32%	22	0.63
PTB	28	331	8.46%	44	1.57
NIM	22	311	7.07%	14	0.64
NPL	16	263	6.08%	16	1.00
NMIJ	14	149	9.40%	12	0.86
总计	323	2519	12.82%	258	0.80

3.2 学科分布与研究方向分析

对量子信息领域的论文进行WOS学科分类,主要分布在物理学、光学材料科学和工程等领域,同时与计算科学、数学、化学等领域也有较多关联,覆盖面广,交叉特点明显,如图7所示。



图7 量子信息领域论文WOS学科分类

Fig.7 WOS subject classification of papers in the field of quantum information

利用VOSviewer软件对量子信息技术相关论

文进行文本挖掘,识别主要研究方向与研究主题,发现论文研究领域涉及量子物态与材料、量子计算与通信、量子精密测量、量子器件等多个方面。主要集中在量子测量的物理实现(如离子阱、超导、光学、量子点、金刚石色心等)、量子传感器的原理、分类和应用(原子钟、原子磁力计)等,如图8所示。

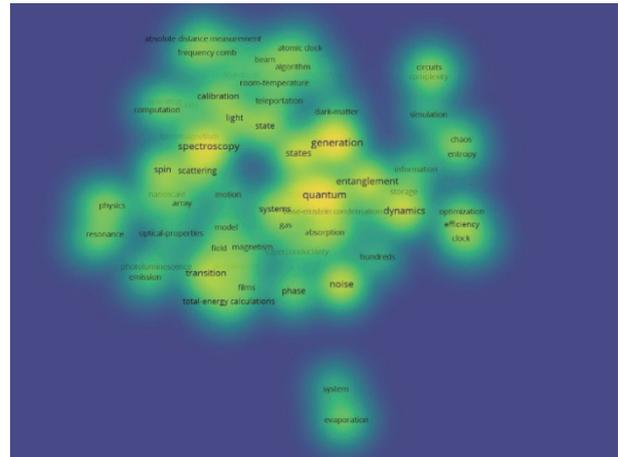


图8 量子信息领域论文研究方向与研究主题分布
Fig.8 Distribution of research directions and research topics of quantum information papers

为了进一步发现量子信息领域的研究热点,对产出论文的研究方向进行分类,国际先进计量机构在量子信息领域发文主要集中在量子精密测量领域,其中,在量子时间基准、量子导航、重力测量、磁场测量和目标探测与成像等方向取得进展。其中,NIST在量子时间频率、量子电磁场测量、量子重力测量、量子通信、量子计算等领域均有布局;NIM同样将量子信息技术视为未来科技创新的发展重点之一,在量子时间频率、量子电磁场测量、量子重力测量等领域均有布局,特别是在量子时间频率领域布局较多;NPL主要在量子时间频率、量子电磁场测量、量子计算等领域布局较多;PTB主要在量子时间频率、量子电磁场测量等领域布局较多;KRISS主要在量子时间频率、量子电磁场测量、量子重力测量、量子计算等领域布局较多;NMIJ在量子时间频率、量子计算等领域开展相关研究。

3.3 Nature、Science 发文情况

2023年,国际先进计量机构在量子信息领域发表Nature、Science论文9篇,其中,Nature发文8篇,Science发文1篇,均产出于NIST。

例如,NIST等机构的研究团队开发出一种激光频率梳技术,即将以飞秒精度实现地球上的时钟同

步。该方法可以使遥远的时钟同步比我们目前所能达到的水平精确 10000 倍^[13]。JILA 天体物理联合实验室(NIST 与科罗拉多大学联合创建)等机构的研究团队使用高功率紫外激光器将原子激发到它们通常处于的“钟”态与更高能级的 Rydberg 态的叠加态。研究人员比较了 70 个原子组之间的频率测量结果,发现这种纠缠将精度提高到未纠缠粒子的极限(即标准量子极限)以下^[14]。因斯布鲁克大学、JILA 天体物理联合实验室等机构的研究团队开发了“纠缠”或相互关联大量粒子特性的新方法,为量子传感器、原子钟和基础物理测试开辟了新的可能性^[15]。哈佛大学、NIST/马里兰大学联合实验室等机构的研究团队在一台具有 48 个逻辑量子位和数百个纠缠逻辑运算的纠错量子计算机上成功执行了大规模算法。这一进步是量子计算的一次重大飞跃,为开发真正可扩展和容错的量子计算机奠定了基础,可以解决实际的经典难题^[16]。

由此可见,2023 年,国际先进计量机构在量子测距、光晶格钟、纠缠时钟、量子雷达/成像/显微、量子纠缠传感网络、量子压缩等研究领域取得突破进展^[17]。

4 健康与生命科学领域

健康与生命科学是生物产业的重要基础,是 21 世纪科技创新最为活跃、影响最深远的学科领域之一。世界先进国家高度重视这一领域的研究及发展,并从多方面积极布局,出台一系列规划、政策等,旨在帮助推动和保证本国在生命健康、生物技术、生物制造和相关技术的发展,以满足国家安全和国防等的需求。

健康与生命科学是国际计量委员会(CIPM)提出的七大计量挑战的第二个,健康与生命科学离不开生物计量技术的有力支持。生物计量属于计量科学中的新兴领域,主要围绕生物参考测量程序/方法、标准物质和计量溯源性开展研究,其目的是实现生物物质的特性量值和标称特性在国家与国际范围内的准确一致,并保证测量结果最终可溯源到国际单位制(SI)单位、法定计量单位或国际公认单位^[18]。

本文将梳理 2023 年美国、英国等国家在健康与生命科学领域的重要战略规划。同时,对国际先进计量机构(NIST、NIM、NPL、LGC、PTB、BAM、NMIJ、KRISS 等)在健康与生命科学领域的发文情况及研究进展等进行分析。

4.1 发文情况总体分析

本部分基于 SCI-EXPANDED 数据库 2023 年的发文数据(检索时间 2024 年 4 月 8 日),通过文献计量和知识可视化技术,分析全球健康与生命科学领域的总体发文情况与科研态势。

2023 年,国际先进计量机构共产出健康与生命科学相关文献 329 篇,见表 4。其中,NIST 发文最多,有 109 篇文章,其次是 NIM 发文 62 篇、PTB 发文 51 篇、NPL 发文 48 篇、KRISS 发文 35 篇、LGC 发文 11 篇、BAM 发文 7 篇、NMIJ 发文 6 篇。

表 4 2023 年健康与生命科学领域发文情况
Tab.4 Statistics of the number of papers in health and life sciences in 2023

机构	领域发 文量(篇)	总发文 量(篇)	占总发文 量比例	被引 频次	篇均 被引
NIST	109	1126	9.68%	212	0.19
NIM	62	311	19.94%	116	0.37
PTB	51	331	15.41%	50	0.15
NPL	48	263	18.25%	114	0.43
KRISS	35	339	10.32%	48	0.14
LGC	11	32	34.38%	14	0.44
BAM	7	186	3.76%	5	0.03
NMIJ	6	149	4.03%	5	0.03
总计	330	2737	12.06%	320	0.12

4.2 学科分布分析

对健康与生命科学领域的论文进行 WOS 学科分类,主要分布在放射学核医学医学影像学、化学分析、生化研究方法、生物化学分子生物学等领域,涉及基础医学、临床医学、医学信息学与生物医学工程学科方向,覆盖面广,交叉特点明显,如图 9 所示。



图 9 健康与生命科学领域论文 WOS 学科分类
Fig.9 Classification of health and life sciences papers under WOS Subject

通过可视化技术对健康与生命科学领域相关论文进行文本挖掘,识别主要研究方向与研究主题,发现论文研究领域集中在突发重大传染病诊断试

剂与设备研发、医学影像计量研究、精准医疗研究、生物医用材料与生物制造等多个热点领域,如图 10 所示。

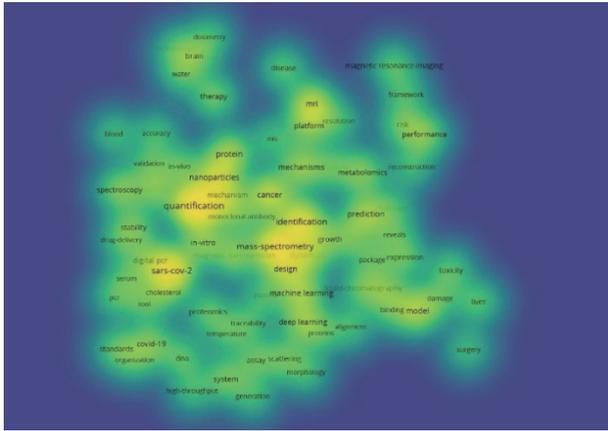


图 10 健康与生命科学领域论文研究方向与研究主题分布

Fig.10 Distribution of research directions and research topics of papers in health and life sciences

为了进一步发现健康与生命科学领域的研究热点,对产出论文的研究方向进行分类,国际先进计量机构在健康与生命科学领域发文主要集中在突发传染病检测与诊断、精准医疗研究、医学成像研究、生物医用材料、纳米药物研究等方向。其中,NIST 在传染病检测与诊断、精准医疗、医学成像研究、生物医用材料、纳米药物研究等领域均开展相关研究;NIM 主要在传染病检测与诊断、精准医疗、医学成像研究等领域开展相关研究;PTB 主要在医学成像研究等领域开展相关研究;BAM 主要在精准医疗等领域开展相关研究;NPL 主要在精准医疗、生物医用材料、纳米药物研究等领域开展相关研究;LGC 主要在突发传染病检测与诊断、精准医疗等领域开展相关研究;NMIJ 主要在传染病检测与诊断等领域开展相关研究;KRISS 主要在医学成像研究等领域开展相关研究。

4.3 Nature、Science 发文情况

2023 年,国际先进计量机构在健康与生命科学领域发表 Nature、Science 论文 2 篇,全部产出自 Nature。

美国国家人类基因组研究所(NHGRI)、NIST 等机构的研究团队利用先进的测序技术读出了 Y 染色体的完整 DNA 序列——基因组中通常驱动男性生殖发育的区域。研究结果提高了染色体 DNA 测序的准确性,有助于识别某些遗传疾病,并有可能揭示其他疾病的遗传根源^[19]。耶鲁大学、华盛顿大

学、NIST 等机构的研究团队发布人类泛基因组参考联盟(Human Pangenome Reference Consortium, HPRC)提出的首个人类泛基因组参考的“初稿”,这一集合旨在最终代表人类这一物种中尽可能多的 DNA 序列。该研究为人类基因组提供了更为完整的图像^[20]。

由此可见,2023 年,国际先进计量机构在全基因组的测序验证、生物分析与细胞技术、生物诊断与蛋白质、生物医学成像研发测量、生物制造等研究领域取得突破进展。

5 结论

通过以上分析可以看出,国际先进计量机构 2023 年产出的科技论文产出各项指标呈现出良好的发展态势,主要结论如下:

(1)面对日趋激烈的国际竞争,国际先进计量机构不断加大计量科学的研究,在计量基础研究领域进展明显。聚焦材料科学,应用物理,仪器仪表,化学物理,化学,纳米科学与纳米技术,光学,工程、电气和电子,分析化学,物理等学科。

(2)国际先进计量机构在计量技术创新的演变过程、发展现状、前瞻性的探索等方面,以量子计量基准为核心开展高水平精密测量研究,聚焦量子信息、健康与生命科学、新材料、半导体、人工智能等前沿领域,取得了高水平的研究成果。

(3)国际先进计量机构形成了一定规模的合作网络,合作对象辐射全球,呈现出与高校合作为主,与各科研机构合作为辅,而各国际先进计量机构间合作相对较少的特点。

(4)在量子信息领域,2023 年,国际先进计量机构在量子测距、光晶格钟、纠缠时钟、量子雷达/成像/显微、量子纠缠传感网络、量子压缩等研究领域取得突破进展。

(5)在健康与生命科学领域,2023 年,国际先进计量机构在全基因组的测序验证、生物分析与细胞技术、生物诊断与蛋白质、生物医学成像研发测量、生物制造等研究领域取得突破进展。

综上,2023 年计量科学研究快速发展,各国际先进计量机构为推动增强本国的科技创新、先进制造能力和国际竞争力,提供了先进的计量测试手段和稳定精准的基础数据支撑,在全球科技创新体系中发挥了重要作用。建议我国进一步发挥新型举国体制优势,统筹计量科学研究和关键技术研发,加强

高端仪器使用和基础设施建设,助力我国科技创新能力和科技竞争力稳步提升。

参考文献

[1] 秦宜智. 实施《计量发展规划(2021-2035年)》全面开启加快计量发展新征程[J]. 中国计量, 2022(6): 5-9.

[2] 卢祝华, 李梦茹, 陈军, 等. 中国计量院重点专项项目档案管理初探[J]. 计量技术, 2020, 64(5): 115-118, 122.

[3] 陈川, 陈岳飞, 曾麟, 等. 数字孪生在智能制造领域的应用及研究进展[J]. 计量科学与技术, 2020, 64(12): 20-25.

[4] 陈岳飞, 王思思, 田明棋, 等. 数字孪生技术在医疗健康领域的应用及研究进展[J]. 计量科学与技术, 2021, 65(10): 6-9.

[5] 赵丹阳. 数字环境下科技文献信息开发利用与服务模式研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012.

[6] 商学琴, 刘羿彤, 李丽, 等. 应对美国出口管制的资源建设需求分析与启示[J]. 计量科学与技术, 2022, 66(5): 69-72, 24.

[7] 段宇宁, 刘羿彤, 李晓萌, 等. 从国际计量机构科研产出看计量领域发展态势——基于文献计量学[J]. 计量学报, 2022, 43(5): 565-570.

[8] 任胜利, 胡素芳, 刘亚辉, 等. 2000~2021年我国地球化学研究论文的产出与影响: 基于SCI数据库的统计分析[J]. 岩石学报, 2023, 39(1): 249-262.

[9] 李晓萌. 基于知识图谱的我国计量科学研究领域研究现状与热点挖掘[J]. 计量与测试技术, 2019, 46(11): 95-98.

[10] 马续补, 刘玮, 秦春秀. 基于知识图谱的我国政策评估研究主体、知识基础、研究热点与演进分析[J]. 现代情报, 2019, 39(3): 166-177.

[11] 王周扬, 丁一然, 曾梦琪, 等. 先进材料的原子制造[J]. 科学通报, 2023, 68(30): 4035-4054.

[12] 刘轶男, 杨巍, 魏凡. 量子计算发展与应用动向研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2022, 17(2): 141-148.

[13] Emily D. Caldwell, Jean-Daniel Deschenes, Jennifer Ellis, *et al.* Quantum-limited optical time transfer for future geosynchronous links[J]. *Nature*, 2023, 618: 721-726.

[14] William J. Eckner, Nelson Darkwah Oppong, Alec Cao, *et al.* Realizing spin squeezing with Rydberg interactions in an optical clock[J]. *Nature*, 2023, 621: 734-739.

[15] Johannes Franke, Sean R. Muleady, Raphael Kaubuegger, *et al.* Quantum-enhanced sensing on optical transitions through finite-range interactions[J]. *Nature*, 2023, 621: 740-745.

[16] Dolev Bluvstein, Simon J. Evered, Alexandra A. Geim, *et al.* Logical quantum processor based on reconfigurable atom arrays[J]. *Nature*, 2023, 626: 58-65.

[17] 张萌, 赖俊森. 量子测量技术进展及应用趋势分析[J]. 信息技术与政策, 2021, 47(9): 72-78.

[18] 董莲华, 刘亚辉, 傅博强, 等. 生物计量研究现状及展望[J]. 计量学报, 2023, 44(3): 317-325.

[19] Arang Rhie, Sergey Nurk, Monika Cechova, *et al.* The complete sequence of a human Y chromosome[J]. *Nature*, 2023, 621: 344-354.

[20] Wen-Wei Liao, Mobin Asri, Jana Ebler, *et al.* A draft human pangenome reference[J]. *Nature*, 2023, 617: 312-324.

本文编辑: 江迪

(上接第 32 页)

[46] 王坤阳. 基于离轴积分腔光谱大气 CO₂ 和 CH₄ 高精度测量技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2021.

[47] LAI R, HE C, LI X, *et al.* Trace methane gas detection by wavelength modulated off-axis integrated cavity output spectroscopy[J]. *Journal of Modern Optics*, 2019, 66(6): 581-589.

[48] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等. 大气二氧化碳(CO₂)光腔衰荡光谱观测系统: GB/T34415-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 09-29.

[49] 宋绍漫, 颜昌翔. 基于光腔衰荡光谱技术的痕量甲烷检测[J]. 光谱学与光谱分析, 2020, 40(07): 2023-2028.

[50] FILGES A, GERBIG C, CHEN H, *et al.* The IAGOS-core greenhouse gas package: a measurement system for continuous airborne observations of CO₂, CH₄, H₂O and CO[J]. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 2015, 67(1): 27989.

[51] BRANDILY C, LECUFF N, DONVAL J P, *et al.* A GC-SSIM-CRDS system: Coupling a gas chromatograph with a Cavity Ring-Down Spectrometer for onboard Twofold analysis of molecular and isotopic compositions of natural gases during ocean-going research expeditions[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2021, 1184: 339040.

[52] 孙超越. 基于 TDLAS 技术的 CO₂ 浓度表征方法研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2022.

[53] XIN F, LI J, GUO J, *et al.* Measurement of Atmospheric CO₂ Column Concentrations Based on Open-Path TDLAS[J]. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 2021, 21(5): 1722.

[54] 刘海芹, 徐睿, 王振翔, 等. 基于 TDLAS 的近红外甲烷高灵敏检测技术[J]. 光子学报, 2024, 53(3): 250-257.

本文编辑: 江迪