

中国科学技术协会主管
中国科协创新战略研究院、中国老科学技术工作者协会主办
2022年10月号·第82期

ISSN 1671-4342

CN 11-4764/N

今日科苑

M O D E R N S C I E N C E

奋进新征程 建功新时代

**我国战略科技人才胜任力构建及对策建议
增强国家战略科技力量的思路与政策研究**

科技创新与评估

基础科学发现如何促进
新兴产业创新——来自
2022 年度诺贝尔物理
学奖的启示

科技人才与教育

日本科学奖励制度中
的青年科学家奖研究

**科学文化与
科学家精神**

科技文化融合视角下科
技馆展品视频创新实践
与思考——以《触摸科
技》展品纪录片为例

**科技社团与
科协发展**

中国科学家国际组织
任职履职能力研究

在危机中育新机，于变局中开新局

□ 中国科协创新战略研究院 董阳 梁思琪

2022年10月，中国共产党第二十次全国代表大会隆重召开，二十大报告对全球形势作出判断：“当前，世界之变、时代之变、历史之变正以前所未有的方式展开”。*Science*期刊10月刊载的4篇文章正是致力于聚焦并回应当前的“世界之变、时代之变、历史之变”，进而尝试在变局中寻求破解之道。

制度优势塑造转型先机。俄乌冲突触发油气价格的飙升，引发了一场新的全球能源危机。舆论普遍认为这将会加速全球范围的化石燃料转型和温室气体减排，然而各国政府对此反应截然不同，一些国家优先发展清洁能源，另一些国家则在化石燃料上加倍下注。其主要原因在于国别间制度结构差异：前者的制度能够保障能源转型政策的执行免受干扰，或向受转型影响的群体给予补偿，因而国家能够在清洁低碳技术发展中发挥“早期公共投资者”作用；后者则缺乏前者的制度优势，往往因循市场驱动的转型，等待新技术价格下降后再予以采用。因此，不同国家能源转型的政策选择，往往受制于其固有的制度背景^[1]。

政策改革提供治理契机。一直以来，投资者对气候变化的关注从未减退，但是直到近年，全球主要发达国家才开始实践以强制性披露为主要形式的金融监管政策。美国证券交易委员会（SEC）提出一项气候披露规定，要求上市公司定期披露与气候相关的金融风险信息，无论其规模大小或注册地是否为美国；鉴于该政策范围之广、美国金融市场的规模和流动性，以及SEC对全球证券监管的影响，这为规范上市公司衡量、报告及应对气候风险的方式提供了重大机遇^[2]。

科学素养孕育创新生机。现代社会日益增加的复杂性和不确定性，使得人们对专业知识的依赖性不断增强，尤其依赖专业知识背后的作者信誉、同行评议机制和专家群体共识。但是，人们往往很容易受到海量错误信息的冲击，因而丧失

了对科学的信任。因此，科学教育的目标必须是培养“有能力的局外人”，理解科学界知识生产的社会实践，掌握专业知识的评价标准，具备数字媒体素养的基础，从而对信息来源的可信性、专业性和共识性做出评估与判断^[3]。

数据共享破解伦理危机。当前，研究资助者、专业学会和科学期刊越来越认同数据要素的公共产品属性，并采取了越来越多的措施予以支持。在健康研究领域，数据共享将有助于跨界合作并改善患者照护水平，但这也诱发了对研究主体、参与人员和边缘群体的伦理担忧（如数据所有权、数据安全等），同时为社区参与式研究（CEnR）提出独特的道德挑战。基于对健康研究和社区参与式研究中数据共享的理由及目标的探讨，可以发现这二者间的潜在张力主要存在于3个方面：激励和利益分享机制、群体伤害和权力结构、研究者参与和责任共担机制^[4]。

面对变局，应当充分发挥制度优势，推动治理变革，加速科学普及和数据共享，有效地把握契机、应对危机、抢抓先机、孕育生机，从而在危机中育新机，于变局中开新局。

参考文献

- [1] Jonas Meckling, Phillip Y Lipsy, Jared J Finnegan, et al. Why nations lead or lag in energy transitions[J]. *Science*, 2022, 378:31–33.
- [2] Stefano Carattini, Edgar Hertwich, Givi Melkadze, et al. Mandatory disclosure is key to address climate risks[J]. *Science*, 2022, 378:352–354.
- [3] Jonathan Osborne, Daniel Pimentel. Science, misinformation, and the role of education[J]. *Science*, 2022, 378:246–248.
- [4] Maya Sabatello, Daphne O Martschenko, Mildred K Cho, et al. Data sharing and community-engaged research[J]. *Science*, 2022, 378:141–143.

版权声明

- 1、除非本刊特别声明，本刊发表的所有文章均不代表本刊编辑部观点，作者文图责任自负，如有侵犯他人版权或者其他权利的行为，本刊概不负连带责任。稿件一经采用，如无特殊说明，一律视为作者同意授权本刊出版及网络合作媒体进行电子版信息传播。版权所有，未经许可，不得翻译、转载本刊所有文章。
- 2、来稿请确保不涉及保密、署名争议等，若出现法律纠纷，作者自负文责。来稿一律不退还，请作者自留底稿。根据《著作权法》，本刊可以对文稿进行修改、删减等，如不同意改动，请在来稿中注明。来稿决定刊用后，本刊有权以光盘、网络期刊等其他方式出版刊用的文稿，如不同意，请在来稿中注明。
- 3、稿件凡经本刊使用，即视为作者同意授权本刊其作品包括但不限于电子版信息网络传播权等。
- 4、稿件凡经本刊使用，即视作者已郑重声明所刊论文为原创作品，且同意授权本刊代理其作品电子版信息有线和无线互联网络传播权，并且本刊有权授权第三方如中国知网等进行电子版信息有线和无线互联网络传播。
- 5、凡向本书刊投稿者，如无特殊声明，稿件一经采用，一律视为本刊拥有稿件的图书版、电子版和网络版的使用权。
- 6、本刊已被中国知网全文收录。稿件采用后，作者如不同意将文章在知网刊发，请在来稿时声明，本刊将适当处理。
- 7、本刊刊发的稿件，视为作者同意本刊对该文稿、图片拥有在网络、光盘等数字传媒上进行传播宣传的使用权。如有异议，请在来稿时声明。

主管单位 中国科学技术协会
主办单位 中国科协创新战略研究院
中国老科学技术工作者协会
出版发行 《今日科苑》编辑部

顾问	陈至立 (Chen Zhili)	
社长 / 主编	申金升 (Shen Jinsheng)	
副主编	吴善超 (Wu Shanchao)	
	张 黎 (Zhang Li)	
编辑部主任	张 丽 (Zhang Li)	
常务副主任	董 阳 (Dong Yang)	
副主任	李 琦 (Li Qi)	刘 艳 (Liu Yan)
责任编辑	刘雅琦 (Liu Yaqi)	徐 丹 (Xu Dan)
	陈 峰 (Chen Feng)	王 萌 (Wang Meng)
	宋子阳 (Song Ziyang)	张 旸 (Zhang Yang)
	马 骁 (Ma Xiao)	刘香钰 (Liu Xiangyu)
文字编辑	梁思琪 (Liang Siqi)	
英文编辑	刘 峰 (Liu Feng)	
美术编辑	潘 芬 (Pan Fen)	
编 务	高 宇 (Gao Yu)	
封面图片	潘晶宇 (Pan Jingyu)	

全国各地邮局均可订阅

邮发代号 18-267 国内发行
定价 20元
发行负责人 钟红静 (Zhong Hongjing)

地址 北京市海淀区复兴路3号
邮编 100038
电话 010-68570860
电子邮箱 jrkybjb@cnaiss.org.cn
投稿网址 modsci.cnaiss.org.cn

目 录

奋进新征程 建功新时代

我国战略科技人才胜任力构建及对策建议·····陈 劲 等	1
增强国家战略科技力量的思路与政策研究·····韩 祺 等	9

科技创新与评估

基础科学发现如何促进新兴产业创新 ——来自2022年度诺贝尔物理学奖的启示·····吴培熠 等	16
生物正交反应与点击化学研究综述·····孟娇龙 等	23
基于文献计量的2022年诺贝尔自然科学奖三大领域研究态势分析·····殷 茜 等	34

科技人才与教育

日本科学奖励制度中的青年科学家奖研究·····诸葛蔚东 等	54
-------------------------------	----

科学文化与科学家精神

科技文化融合视角下科技馆展品视频创新实践与思考 ——以《触摸科技》展品纪录片为例·····郝倩倩	66
---	----

科技社团与科协发展

中国科学家国际组织任职履职能力研究·····牛仲君 等	73
科技社团在公共政策中的角色 ——对美国电气与电子工程师学会（IEEE-USA）的案例研究 ·····樊春良 等	81

我国战略科技人才胜任力构建及对策建议

陈 劲^{1,2}, 杨 芳^{1,2}

(1. 清华大学经济管理学院, 北京 100083; 2. 清华大学技术创新研究中心, 北京 100083)

摘 要: 战略科技人才是科技创新的重要力量, 是实施创新驱动发展的关键因素, 培养高水平战略科技人才是我国建设国家战略人才力量的重要内容。本文从培养规模、培养结构和产出质量等角度对中外战略科技人才进行对比, 梳理我国战略科技人才总现状; 在此基础上, 探讨我国战略科技人才胜任力模型, 以及从加强顶层设计、建设协同创新高端平台和健全作用发挥长效机制等方面提出进一步激发战略科技人才创新活力、促进战略科技人才发展的对策建议。

关键词: 战略科技人才, 中外对比, 胜任力模型, 对策建议

1. 引言

党的十八大以来, 以习近平同志为核心的党中央对人才工作做出了一系列创新部署。党的十九大和二十大进一步明确了新时代实施人才强国战略的紧迫性和重要性, 强调人才战略在“科教兴国战略、创新驱动发展战略、乡村振兴战略、区域协调发展战略、可持续发展战略、军民融合发展战略”等国家战略中的基础性和引领性作用。

2016年, 习近平总书记在“科技三会(全国科技创新大会、两院院士大会、中国科协第九次全国代表大会)”讲话中指出, “要努力造就一大批能够把握世界科技大势、研判科技发展方向的战略科技人才。”党的十九大报告中明确指出, 要培养和造就一大批具有国际水平的战略科技人才、科技领军人才、青年科技人才和高水平创新团队。2021年, 习近平总书记在中央人才工作会议上指出, 要大力培养使用战略科学家, 坚持实践标准, 在国家重大科技任务担纲领衔者中发现具有深厚科学素养、长期奋战在科研第一

线, 视野开阔, 前瞻性判断力、跨学科理解能力、大兵团作战组织领导能力强的科学家; 要坚持长远眼光, 有意识地发现和培养更多具有战略科学家潜质的高层次复合型人才, 形成战略科学家成长梯队^[1]。党的二十大报告中指出人才是第一资源, 要坚持人才引领驱动, 加快建设国家战略人才力量, 努力造就更多大师、战略科学家、一流科技领军人才和创新团队、青年科技人才^[2]。

从习近平总书记一系列重要论述和现有研究中可以发现, 战略科技人才指的是能够把握世界科技大势、研判科技发展方向、具备高水平的跨领域战略视角、服务国家战略需求的人才力量。换言之, 他们需要具备浓厚的科学素养、高水平创新能力、宏观战略思维、卓越领导能力和组织能力、敏锐洞察力和判断力, 不仅能够对科技发展方向保持高度的嗅觉, 还能够结合当下的时代背景和国家发展战略, 制定相应的科技战略发展规划并带领团队率先在科技前沿领域进行开拓创新, 是对科技创新、产业发展、国家安全、全球竞争和可持续发展具有全局性、系统性、基础

作者简介: 陈 劲, 男, 博士, 教授, 清华大学经济管理学院, 研究方向为创新管理、科技政策。

杨 芳, 女, 博士, 清华大学经济管理学院博士后, 研究方向为创新管理、科技人才。

性、决定性和前瞻性意义的人才。

然而，与战略科技人才重要性形成鲜明对比的是：当前我国的战略科技人才培养存在着“拔尖战略科技人才数量匮乏”“战略科技人才梯队储备不够”“战略科技人才培养的生态与体系建设不足”等问题^[3]，在回应“大国竞争新变局下的挑战”与支撑“新时代科技创新强国战略”上，战略科技人才发挥作用的力度仍有很大提升空间^[4]。如何培养战略科技人才，成为学术界和管理界广泛关注的共同课题。

以往有关于战略科技人才研究多集中于对战略科技人才发挥作用、培养紧迫性和培养模式进行研究和论述^[5-6]，较少有研究从战略科技人才的中外对比分析视角来系统总结我国战略科技人才的现状，以及结合组织管理视角总结战略科技人才特征和胜任力，提出战略科技人才的群体画像。鉴于此，本文通过分析中外战略科技人才培养数量、培养结构、产出影响力等方面统计数据，总结分析当前我国战略科技人才培养的现状和存在问题，并在此基础上，提出改善我国战略科技人才培养、促进战略科技人才发展的对策建议。

2. 中外战略科技人才比较

2.1 培养规模

从我国科技人才培养的历程来看，我国战略科技人才培育工作取得了很大发展，人才队伍的规模不断扩大、人才素质不断提高、人才队伍整体实力持续增强、创新人才服务体系逐步健全。我国战略科技人才资源储备具有总量优势。

就科技人才储备的国际比较而言，国际上通常以R&D人员指标比较各国科技人才情况，我国R&D研究人员总量¹（全时当量）在2010年超过美国之后，一直位列世界第一。依据《中国科技人才发展报告（2020）》，“十三五”期间，我国R&D人员全时当量快速增长，年均增速超过7%，从2016年的387.8万人年，增至2020年的509.2万人年，连续多年居世界第一^[7]。

此外，工程科技人才的培养数量也是考察当下战略科技人才总量，尤其是战略科技人才储备基础的关键指标。如表1^[8]所示，比较世界主要国家本科工程科技人才的总数与占比，可以看到在工程科技人才的储备总量上，我国也占据明显优

表1 主要国家获得工程科技学士学位、博士学位的毕业生人数及比例

国家	工程科技专业本科 毕业生总数	本科占所在国家 毕业生总数比例（%）	博士毕业生总数	博士占所在国家 毕业生总数比例（%）
中国	1653565	48.44	53653	63.56
美国	741763	39.23	67591	58.93
以色列	23787	46.77	1546	71.99
日本	315812	55.84	15045	44.82
韩国	134761	40.91	12931	46.65
法国	115039	35.09	13729	73.01
德国	156601	41.77	28147	51.96
英国	180340	40.60	25020	57.04

¹ 指R&D全时人员（全年从事R&D活动累积工作时间占全部工作时间的90%及以上人员）工作量与非全时人员按实际工作时间折算的工作量之和。

势。2017年我国普通高校工程科技专业本科生比紧随其后的美国高出将近3倍，比其他主要国家高出10倍以上。工程科技人才的培养数奠定了战略科技人力资源总量上的规模基础，其构成了我国在未来人才竞争中的比较优势，也为我国战略科技人才提供了智力支撑。

2.2 培养结构

从表面上看，我国科技人力资源规模已位居世界第一，具有非常丰富的战略科技人才培养储备基础。但是，我国战略科技人才存在着高端人才比例严重不足的队伍结构性矛盾。仍以R&D研究人员的数据为例，2020年我国R&D人员总量虽达到509.2万人年，但高校R&D人员和高校R&D研究人员总量仅占我国R&D人员和研究人员的9%和20%，这意味着我国高校R&D人员数量尚不到美国的1/2；若同时考察R&D研究人员的密度¹，可以看到我国与发达国家的差距也很显著。2018年，我国R&D研究人员密度为24.1人年，远远落后于美国的92.3人年，仅为韩国

的1/6，低于法国、日本、德国与英国的1/4。同时，通过表1可以看到，本科工程科技人才比例最高的是日本（55.84%），博士占比最高的法国、以色列均超过了70%。我国获得工程科技专业学士学位的人才总数占我国学士学位人才数的48.4%，工程科技专业博士占比63.56%，与上述科技强国相比仍具有一定差距。

2.3 产出体量和国际话语权

近年来，我国在科研论文、专利申请等科技创新的产出上表现出不断增长的体量优势。我国自2016年开始，在发表文章总量上超越美国，位居世界首位。从表2^[9]可以看出，在2011年到2021年十年间我国ESI（基础科学指标）论文总量已经排在世界第二，赶超美国指日可待。

与产出体量相对应，产出的引用数不仅体现产出的质量水平，也表征产出的影响力和国际话语权。一方面，依据世界知识产权组织最新发布的2022全球创新指数（Global Innovation Index，GII），我国排名上升到第11位，创新指数处于中

表2 全球主要国家的论文发表数量及引用率

国家	位次	论文数量（篇）	被引用次数（次）	论文引用率（次/篇）
美国	1	4379730	87553897	19.99
中国	2	3465661	45591820	13.16
英国	3	1396742	29822342	21.35
德国	4	1186919	22824920	19.23
日本	5	875069	12290608	14.05
法国	6	802799	15205668	18.94
意大利	7	758293	13434758	17.72
加拿大	8	751647	14517245	19.31
印度	9	725360	8132863	11.21
澳大利亚	10	690031	13270891	19.23

¹ 每万名就业人员的R&D研究人员数量。

高收入经济体之首, 这说明我国科技产出影响在不断加大^[10]; 然而另一方面, 根据《中国科技统计年鉴2021》, 全球论文引用率最高的瑞士、荷兰、英国和瑞典等4个国家, 论文引用率均超过20%, 位居全球前四名。美国的论文数量虽位居榜首, 但是论文引用率不足20%, 中国的论文引用率更低, 仅为13.2%, 位居全球第14名, 这说明我国亟待提升科研成果质量和国际话语权。

此外, 根据2021年美国国家科学委员会“科学与工程指标”, 近5年在科学与工程领域前1%最多引用的文章中, 我国所占份额指数明显落后于美国、以色列等世界科技强国。根据科睿唯安发布的2021年度全球“高被引科学家”名单, 来自全球70多个国家和地区的6602名科学家入选; 其中, 美国入选人次排名第一(2622人次), 占名单总数的39.7%, 中国内地排名第二(935人次), 占比14.2%。

总结来看, 尽管我国已经连续第7年在中等收入经济体中保持创新质量的第一, 但与发达国家经济体之间的差距依然明显, 从创新大国向高质量创新强国的发展依旧“道阻且长”。尤应注意到, 我国虽在专利申请、科学论文发总数上名列前茅, 但在专利发明的国际化程度(居全球27位)以及科学论文的引用量(以H-index指数衡量, 居全球第13位)上, 与美国、德国、日本、瑞士、以色列等创新强国差距明显。在芯片、航空发动机、基因技术等关键核心领域, 更是面临被“卡脖子”的严峻挑战。与我国的产出体量优势相比, 我国在科研产出的影响力, 也即国际话语权上仍有待提高。

2.4 吸纳海外战略科技人才

依据美国国家科学委员会数据, 近十年来美国授予的工程学博士中, 外籍留学生占比一直保持在50%~60%。75%以上在美国获得自然科学和工程学博士学位的博士为外籍, 其中外籍博士的42%和31%分别就读于自然科学和工程学学科。这说明美国在世界各地优质科技人力资源的吸引力

上一直占据优势。相比较, 我国在高质量的科技人才吸引力上处于劣势。依据德科集团、欧洲工商管理学院(INSEAD)等联合发布的“2018全球人才竞争力指数(2018 GTCI)”, 我国排在119个国家中的第43位, 其中在人才培养(第29位)和全球知识技能排名(第22位)中表现尚可, 而在人才吸引力排名(第76位)和全球优秀人才保留排名(第64位)方面处于劣势。

3. 战略科技人才特征识别和胜任力模型构建

3.1 战略科技人才分类

依据战略科技人才在领域、从事学科等方面的侧重不同, 我们把战略科技人才进一步分为三类, 以期为战略科技人才胜任力模型构建和细分提供基础。

(1) 专业战略科技人才。通过自己的研究形成开创性成果, 开辟新的甚至是革命性变革的研究领域, 在专业领域具有卓越成就, 以科技创新成就为人类文明或社会发展作出卓越贡献, 受到社会公认的杰出科研学者。他们通常有极强的科学知识储备和科技创新能力, 精通专业领域的知识发展, 在本专业领域具有重大技术贡献或突破。

(2) 跨学科战略科技人才。那些超越本领域, 对相关领域甚至整个科技领域进行战略咨询、战略策划、战略制定、战略组织、战略实施的领军人物。他们通常突破本学科领域的限制, 注重跨学科知识融合、文理兼通, 善于从行业发展或科技发展领域思考问题, 有极强的领导能力和决策制定能力, 是发展科技、攻坚克难的领导者、组织者。

(3) 产业战略科技人才。注重宏观战略布局, 围绕世界科技前沿发展趋势和国家战略布局, 重视科学技术、尊重科学技术、依靠科学技术、支持科学技术, 运用科学技术来制定、推动未来发展战略的优秀爱国企业家。他们通常将最新科研成果“产业化”, 可以将最新的科学

研究发现应用到人们的日常生活中，从而使科研发现惠及人民大众，促进社会进步。

总的来说，专业战略科技人才精通本专业领域学科知识，是开展原创性、革命性领域研究的主力军；跨学科战略科技人才主要是突破专业领域学科限制，文理兼通，具备较强的综合素质能力，在科技领域内的战略决策的制定者、组织者；产业战略科技人才本身并不直接从事科学研究，但了解国家的科技发展、战略需求，具备强烈的爱国情怀和民族振兴意识，是将科学研究成果“产业化”的优秀企业家。这三类战略科技人才彼此之间存在一定的差异性，但大部分均以服务国家战略需求为己任，具备高尚的爱国主义情怀，将个人价值实现同国家发展紧密结合起来。

3.2 战略科技人才特征

美国心理学家麦克利兰1973年提出冰山模型，将个体素质的不同表现形式划分为表层的“冰山以上部分”和隐藏的“冰山以下部分”。

“冰山以上部分”指的是基本知识、基本技能等外在表现，比较容易了解和测量；“冰山以下部分”指的是包含价值观、角色定位、动机、个性品质等，虽然不容易被观察和测量，但却是起着关键性作用的个体素质^[11]。

对于战略科技人才的识别，专业技能和知识是非常重要的，但需要更加关注隐藏在冰山之下、不易被发现的特征。借助冰山模型这一理论基础，对战略科技人才开展素质特征分析，有利于构建战略科技人才素质模型，为战略科技人才的识别和培养提供一定的帮助。

在梳理习近平总书记关于战略科技人才的重要论述以及已有文献的基础上，我们初步总结战略性科技人才的基本特征应首先包括专业技能素质、核心能力素质以及国家民族意识三个维度；同时，为了着重强调科技人才所具备的战略性特征，另外设定宏观战略思维这一维度来识别和衡量战略科技人才，因而识别战略科技人才的主体特征如下（图1）：

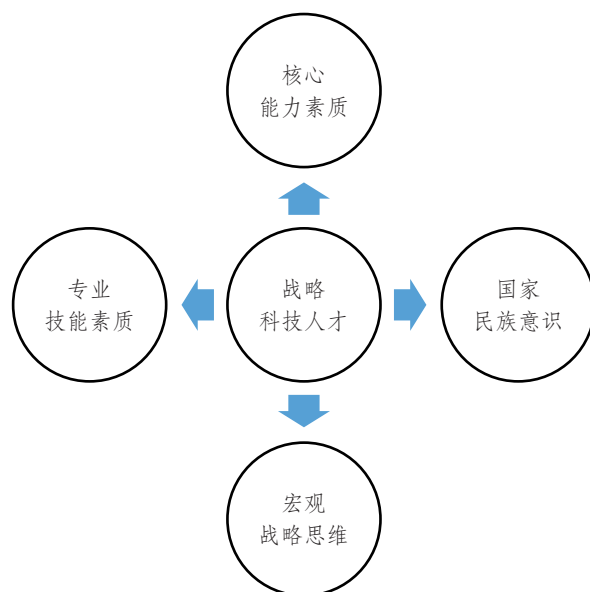


图1 战略科技人才特征

专业技能素质指的是战略科技人才在本学科或者跨学科领域的知识储备，对学科前沿新知识和新技术的了解和学习能力，并将专业知识进行应用、转化为科学研究成果的能力。

核心能力素质指的是除科学知识技能储备和成果应用外，战略科技人才在从事科研攻关、领导团队等工作时所具备的抗压能力、创新能力、领导能力、意志品质等核心能力。

国家民族意识指的是战略科技人才具有鲜明的国家和民族意识，关注国家发展现状和未来发展目标，在认真做好自身研究课题和研究任务的基础上，注重将个人或者团队的科学研究服务于国家需求，践行科技人才的责任和使命。

宏观战略思维指的是战略科技人才关注世界科技前沿发展趋势，结合国家宏观战略，推动科技创新战略布局的制定，积极组建并带领团队承担国家重大科技任务，引导科技人才勇于攻关国家关键领域、关键核心技术问题，主要包括战略规划、国际视野，前瞻性等能力。

3.3 战略科技人才胜任力模型

结合上述特别识别，战略科技人才胜任力素质模型包括专业技能素质、核心能力素质、国家民族意识以及宏观战略思维四个方面。具体而

言，专业技能素质包括科学知识储备、知识应用和系统思维；核心能力素质包括战略科技人员的领导力、创新力、决策力以及承压力；国家民族意识主要指战略科技人才的爱国意识与职业道德；宏观战略思维包括战略规划、科技洞察力与

国际视野。

本文认为不同类别战略科技人才在胜任力模型的维度上略有差异。专业战略科技人才需要具备极高的知识储备水平，在带领团队实施重大科研攻关时也需要展示足够的领导力和创新力，同

表3 战略科技人才胜任力模型

专业技能素质：在本学科或跨学科领域的知识储备，对学科前沿新知识和新技术的了解和学习能力，并将专业知识进行应用、转化为科学研究成果的能力	
具体维度	维度定义
知识储备	在技术领域具备深厚的专业知识基础，包括数学、物理、工程学科等，同时兼具知识点宽度和深度
知识应用	在工作中自如运用专业技术知识的能力，善于接受和整合新的知识、技术，对待科学问题善于提供专业知识和技术建议
系统思维	思维方式具有系统性、动态性复杂性，善用跨时间、跨空间视角观察问题，能针对多目标优化提出可操作性解决方案
核心能力素质：除科学知识技能储备和成果应用外，科技人才在从事科研攻关、领导团队等工作时所具备的抗压能力、创新能力、领导能力等核心能力	
具体维度	维度定义
领导力	吸引、影响、激励科技工作者持续获得团队竞争优势；广泛参与国际科研项目，掌握国际话语权；对科学研究抱有崇高信念，具备强大科学感召力
创新力	保持强烈的创新欲望和探索未知领域的坚定意志，敢于挑战权威和传统观念
决策力	面对涉及不同复杂程度、模糊性和风险的问题时，能够提出关键、及时的个人建议来解决问题
承压力	能够在压力下进行专业工作并保持自控能力，善于进行压力管理
国家民族意识：具有鲜明的国家和民族意识，关注国家发展现状和未来发展目标，在认真做好自身研究课题和研究任务的基础上，注重将个人或者团队的科学研究服务于国家需求，践行科技人才的责任和使命	
具体维度	维度定义
爱国意识	具有强烈的爱国奉献精神，远大的志向，坚持在为祖国、为人民勇攀科技高峰中实现自己的人生价值
职业道德	展现对社会、健康、安全、法律和文化问题的理解，遵守科技工作者的职业道德及规范，履行责任
宏观战略思维：关注世界科技前沿发展趋势，结合国家宏观战略，推动科技创新战略布局的制定，积极组建并带领团队承担国家重大科技任务，引导科技人才勇于攻关国家关键领域、关键核心技术问题。主要包括战略规划、国际视野，前瞻性等能力	
具体维度	维度定义
战略规划	构建国家科技战略，并将战略内涵推行和落实到日常工作中，能基于已有战略计划、组织、评估科技政策和科技活动
科技洞察力	准确把握人类社会对科技需求，善于挖掘对人类发展的重大科技项目，熟悉科学技术发展规律
国际视野	熟悉主流国家科技政策、法律，具备整合国际科技合作资源能力，对国际政治形式变换保持敏感性

时需要具备极高的科技洞察力,了解科学技术发展前沿。跨学科战略科技人才需要极高的系统性思维能力,当机立断的决策能力,以及极高的国际视野、科技洞察力和战略规划能力。产业战略科技人才则需要极高的知识应用能力、创新能力、国际视野和科技洞察能力。除了不同点外,三类战略科技人才具备的共同点包括都需要极高领导能力,作为本专业领域的佼佼者,通过专业指导、给予信心等方式激发团队成员超越自我、勇于创新,同时都有强烈的爱国奉献精神和远大志向。

当前,我国战略科技人才在创新活力、创新质量等方面存在一些挑战,究竟战略科技人才具备什么样的能力和品质有助于提高战略科技人才的创新意愿和能力是被广泛探讨的话题。本文构建上述胜任力模型,旨在为战略科技人才的甄选、作用发挥提供一些思考。

4. 加强战略科技人才培养的对策建议

结合我国战略科技人才在培养规模、产出体量上的优势,产出质量和国际话语权方面的劣势,以及战略科技人才胜任力模型,就如何激发战略科技人才创新活力、促进战略科技人才发展提出以下建议:

4.1 加强战略科技人才培育顶层设计

由教育部、科技部、财政部、人社部等相关部委联合组成战略科技人才工作领导小组,设立国家战略科技人才引育专项资金,优先保障战略科技人才及其团队的引进和事业发展费用。统筹布局战略科技人才重点培育领域,推进战略科技人才开展跨界融合创新和国际合作创新,为我国战略科技人才走特色发展、先在重点领域提高国际影响力提供良好条件^[12]。

引导各省市聚焦国家战略需求和战略目标,针对地方有基础、有优势、能突破的重点领域,特别是脑科学与人工智能、集成电路与计算科学、生命科学与生物医药、航空航天、智能网联车路协同、船舶与海洋工程、新能源、高端装备

与智能制造、物联网、新材料等领域,强化与国内外战略科技人才合作,构建一批国际性研发中心、科技创新中心;同时,引导各省市建设战略科技人才风采馆,展示战略科技人才科技成果。

4.2 积极建设战略科技人才协同创新高端平台

鼓励各省市在国家 and 省级重点实验室等创新载体基础上,强化在5G芯片、先进制造、人工智能、现代农业、生物医药等新技术含量较高的领域搭建一批跨界融合创新研发平台,打造跨境协同创新和成果转化平台^[13]。鼓励各类战略科技人才设立海外创新研究机构、海外院士工作站或科学家工作站,创造性地开发使用海外战略科技人才资源,通过远程在线指导、离岸创新孵化等多种方式共享全球智力资源,推进战略科技人才高端智库建设。对于有较大影响力和国际知名度的高端新型智库,优先保障充足便捷的科研场地,不受行政级别、事业编制、岗位设置、工资总额限制,进一步方便战略科技人才开展创新工作,激发战略科技人才创造意愿和创造力。

4.3 健全战略科技人才作用发挥长效机制

实施战略科技人才全权负责制,发挥战略科技人才主体能动作用,对战略科技人才实施“量身定制,一人一策”的绿色通道。赋予战略科技人才用人权、用财权、用物权、技术路线决定权和内部机构设置权。对战略科技人才及其团队实施内外部结合的中长期考核机制,以第三方国际同行评估为主、用人单位年度自评为辅的评估考核模式。

探索建立新型学术出国审批机制,放宽战略科技人才出国(境)招才引智审批限制,授予战略科技人才学术出国自主权,建立行政助理制度,对批次数、团组人数、在外停留天数,根据实际需要进行合理安排。健全知识成果保护机制,探讨设立战略科技人才知识产权保护中心,为战略科技人才在专利申请、授权、保护、维权援助、运营转化等方面提供定制服务,支持知识成果转化增值。

4.4 优化保障战略科技人才发展生态环境

优先推荐战略科技人才及核心团队成员申请获得永久居留权。完善住房机制, 综合发挥用人单位、各级政府、行业主管部门等多方主体作用, 实施战略科技人才安居工程, 采取购房补贴、租房补贴、人才公寓等多种形式系统解决战略科技人才在中国工作期间的长期稳定居住需求。完善医疗服务及家属待遇, 统筹建立国际化的人才医疗服务保障体系, 畅通战略科技人才就医“绿色通道”。设立战略科技人才定点医院, 建立战略科技人才健康档案, 优先给战略科技人才配备家庭医生。允许战略科技人才及其核心团队成员使用支持资金购买商业养老和商业医疗保险, 战略科技人才及其核心团队成员的配偶, 参照享受商业医疗保险待遇。优先保障战略科技人才及其核心团队成员的子女在义务教育阶段的就读需求。

4.5 积极推动人才发展体制机制改革

深化人才发展体制机制改革是二十大报告的具体要求。二十大报告强调要真心爱才、悉心育才, 深化科技评价改革, 形成支持全面创新的基础制度。进一步简化科研项目过程管理, 注重中长期创新绩效。依托数字化与智能化技术, 加大共享基础数据信息力度, 进一步减少基层填报工作量, 强化解决报销繁琐过程, 继续抓好简化项目经费调剂管理方式和科研仪器设备采购流程等政策落实工作, 加大科研经费管理“包干制”探索力度。继续完善科研助理制度, 依托财政科研项目开发科研助理岗位, 吸纳高校毕业生、社会其他人员积极参与科研管理工作。

加强科研项目监督检查工作统筹, 探索科技监督工作新范式, 采取随机抽查、重点监督、事后监管等方式, 继续推动监督检查结果信息共享和互认, 合理开展科研项目实施周期内的各类评估、检查、抽查、审计等活动。建立信用承诺与违约追责相结合机制。持续加大科技评价活动中“唯论文、唯职称、唯学历、唯奖项”问题的清理力度, 加快推行代表作评价制度, 深化科技评价改革, 优化评估体系。

参考文献

- [1] 深入实施新时代人才强国战略, 加快建设世界重要人才中心和创新高地[N]. 人民日报, 2021-09-29.
- [2] 高举中国特色社会主义伟大旗帜为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗[EB/OL]. [2022-10-17]. <http://dangjian.people.com.cn/n1/2022/1017/c117092-32546758.html>.
- [3] 陈劲, 王璐瑶. 战略科技人才培养的“点、线、面、体”动态框架——大国竞争新变局下的前沿探索[J]. 创新科技, 2021,21(08):1-7.
- [4] 秦琳, 姜晓燕, 张永军. 国际比较视野下我国参与全球战略科技人才竞争的形势、问题与对策[J]. 国家教育行政学院学报, 2022(08):12-23.
- [5] 张平, 马力. 战略科技人才培育路径仿真研究[J]. 管理现代化, 2020,40(02):81-87.
- [6] 孙锐, 孙彦玲. 构建面向高质量发展的人才工作体系:问题与对策[J]. 科学学与科学技术管理, 2021,42(02):3-16.
- [7] 中华人民共和国科学技术部. 中国科技人才发展报告(2020)[M]. 科学技术文献出版社, 2021.
- [8] 国家统计局. 中国科技统计年鉴(2021)[M]. 中国统计出版社, 2022.
- [9] 方陵生, 梁偲. 美国《2018科学与工程指标》:全球发展趋势[J]. 世界科学, 2018(03):31-36.
- [10] 操秀英. 全球创新指数:中国排名升至第11位[N]. 科技日报, 2022-09-30.
- [11] Mckinney E, Yoos C J, Snead K. The need for 'skeptical' accountants in the era of Big Data [J]. Journal of Accounting Education, 2017(38):63-80.
- [12] 白光祖, 万劲波, 彭现科, 等. 强化国家战略科技力量支撑, 服务构建新发展格局[J]. 科技导报, 2022,40(11):6-14.
- [13] 徐示波, 贾敬敦, 仲伟俊. 国家战略科技力量体系化研究[J]. 中国科技论坛, 2022(03):1-8.

(下转第15页)

增强国家战略科技力量的思路与政策研究

韩 祺¹, 姜 江¹, 于潇宇¹, 张铭慎²

(1. 国家发展和改革委员会产业经济与技术经济研究所, 北京 100038;

2. 国家发展和改革委员会经济研究所, 北京 100038)

摘 要: 当前, 我国正处于全面构建国家战略科技力量的关键阶段。文章梳理了国家战略科技力量的内涵与时代特征, 分析了存在的问题及其主要原因, 认为我国当前战略科技力量在“0-1”环节基础研究水平存在短板, “1-10”环节科技与经济融合不紧密, “10-100”环节对经济韧性支撑不足, 战略科技力量功能发挥较弱。建议应培育和建设国家战略科技力量单元, 实施战略科技力量重点攻坚工程, 建立健全国家战略科技力量组织模式。

关键词: 战略科技力量, 中国特色, 政策研究

当前, 百年未有之大变局加速演进, 创新成为影响和改变全球竞争格局的关键变量。立足我国高质量发展阶段, 积极应对各种风险挑战和瓶颈制约, 党中央审时度势, 提出“强化国家战略科技力量”的决策部署, 对科技创新提出了更高的要求。深入研究增强国家战略科技力量的思路与对策, 对准确把握我国科技创新工作在新发展阶段和新发展格局中的重大使命, 构建更有竞争力的国家创新体系以及明确科技创新改革实施路径等均具有重要意义。

1. 国家战略科技力量的内涵与时代特征

1.1 对国家战略科技力量基本理解

国家战略科技力量概念是极具中国时代特色的新提法, 其内涵和外延目前在理论界尚未形成统一认识。从字面理解, 国家战略科技力量是国家力量的重要组成部分。通常来说, 国家力量也

称为综合国力, 是指一个主权国家生存与发展所拥有的全部实力(硬实力和软实力)的总合力, 包含经济、人口、资源、科技、军事、金融、文化等多个方面; 而“战略力量”一词, 多用于军事和国家安全领域, 是关系国家存亡和军事成败的决定性力量^[1]。中国科学院认为, “国家战略科技力量以满足国家战略需求为定位, 是国家科研机构、高校、企业(包括高科技民企)等优势力量的集合与协同”^[2]。陈劲与朱子钦认为, 国家战略科技力量主要包括“国家实验室体系、国家重点实验室体系, 以及国家工程研究中心、国家技术创新中心、国家科学数据中心等承载国家使命的科研机构”^[3]。肖小溪和李晓轩指出, 国家战略科技力量包括三部分: “一是新建的国家实验室, 二是重组后的国家重点实验室, 三是其他形式新增的战略科技力量, 如在关键技术卡脖子问题方面承担战略性研发攻关任务的企业”^[4]。

综合来看, 本文认为, 战略科技力量是一个

作者简介: 韩 祺, 男, 博士, 副研究员, 创新战略研究室副主任, 研究方向为创新创业和新兴产业政策。

姜 江, 女, 博士, 研究员, 创新战略研究室主任, 研究方向为产业经济与产业政策、创新政策。

于潇宇, 男, 博士, 助理研究员, 创新战略研究室, 研究方向为科技创新战略。

张铭慎, 男, 博士, 副研究员, 企业与创业研究室副主任, 研究方向为企业经济研究。

系统性概念,是指体现国家重大意志、担负国家重大使命、参与国家重大任务的科技创新优势力量的集合,是国家科研机构、高水平研究型大学、科技领军企业等各类创新主体(及其内部单元)的有机整合和高效协同。

1.2 新时期我国国家战略科技力量的主要特征

在两次世界大战中,科学技术成为决定战争胜负的战略力量。在当今世界和平发展的主旋律下,科学技术成为维护国家安全与发展的重要手段。为完成与国家战略目标相关的科技创新任务,发达国家设立国家实验室、国家研究中心、国立科研机构或联邦实验室等,这些科技力量具有独特的功能和地位,在推动科技建设中发挥着重要作用^[5]。党的十八大以来,党和国家把科技创新摆在国家发展全局的核心位置,深入实施创新驱动发展战略,提出一系列新思想、新论断、新提法、新举措,不断深化对国家战略科技力量的认识。

第一,“科技自立自强”是国家战略科技力量在构建新发展格局中的重大使命。为了有力抵御外部冲击,更好推动高质量发展,党和国家决定把强化国内循环主导、优化国际循环赋能作为优化国内国际循环关系的主线,加快构建新发展格局^[6],这也成为把握未来发展主动权的战略举措、加快实现经济现代化的路径选择。加速科技自立自强是构建新发展格局最本质的特征,这一方面要求战略科技力量充分发挥多学科、建制化优势,在攻克“卡脖子”难题、摆脱创新链产业链在核心技术和关键环节受制于人的被动局面等方面发挥“主攻手”和“突击队”作用^[7],加快抢占科技制高点,将创新主动权、发展主动权牢牢掌握在自己手中,另一方面要求战略科技力量更好地代表国家参与国际科技竞争合作,为世界科技发展和进步贡献更多中国智慧、中国力量。

第二,“国家实验室、国家科学技术研发机构、高水平研究型大学、科技领军企业”是新时期国家战略科技力量的重要组成部分^[8]。新中国

成立后,我国科研体系上初步形成了由中国科学院、国防科研机构、高校、中央各部委科研机构和地方科研机构等组成的科技“五路大军”。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》首次明确“支持鼓励企业成为技术创新主体”。党的十八大以来,《“十三五”国家科技创新基地与条件保障能力建设专项规划》,明确了要布局建设若干体现国家意志、实现国家使命、代表国家水平的国家实验室,并明确了前期批准立项的国家实验室、国家实验室(筹)、国家研究中心全部纳入国家重点实验室管理序列。《国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》指出,以国家战略性需求为导向推进创新体系优化组合,加快构建以国家实验室为引领的战略科技力量。党的二十大明确提出,强化国家战略科技力量,优化配置创新资源,优化国家科研机构、高水平研究型大学、科技领军企业定位和布局,形成国家实验室体系。因此,国家实验室、科技领军企业成为新时期国家战略科技力量队伍中最引人注目的焦点。

第三,“四个面向”是新形势下国家战略科技力量的主攻方向。党的十九届五中全会明确将“面向人民生命健康”作为引领国家科技事业发展的新指针,提出必须“坚持面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康”,使科技事业发展指导思想实现了从“三个面向”到“四个面向”的跨越。“面向人民生命健康”是党中央面对突发的新冠肺炎疫情大流行、坚持“科技为民”做出的新部署,要求战略科技力量在保障人民生命安全、提升人民生活品质的重大领域方面承担重任。把最大限度保护人民群众生命安全和身体健康作为科技工作的重要遵循,是落实全心全意为人民服务根本宗旨的实际行动。

第四,“社会主义市场经济条件下关键核心技术攻关新型举国体制”是国家战略科技力量在科技体制改革中的主要任务。战略科技力量是新型举国体制的重要组成部分,新型举国体制又为

充实战略科技力量创造了有利条件。一方面,新型举国体制是一种将国家重大科技创新战略、目标考核、实施社会动员、资源配置与市场激励功能相结合,动员政府、科研机构、企业等积极参与,形成科技强国的系统战略力量,从而实现科技创新重大项目突破机制^[9]。另一方面,这一机制为集聚全国国力、集中配置要素资源,为完成国家重大科技创新战略或实现重大科技创新项目突破而开展集中研究提供了制度和政策安排。这有利于更多资源和任务向战略科技力量集中,并为战略科技力量突破现有体制机制束缚提供可能。

2. 增强国家战略科技力量所面临的问题及原因

经过多年积累,国家战略科技力量呈现出主体边界不断拓展、基础实力明显增强、功能发挥日益显著等重要特征,国家战略科技力量实现了历史性跃升。但也要看到当前我国在自主创新能力、科技经济整合、全链条创新链建设等进程中仍面临问题和存在不足,制约了战略科技力量对经济社会的支撑。

2.1 由于“0-1”环节存在自主创新能力不足和多重体制机制障碍,战略科技力量的基础研究水平存在突出短板

目前,从事这一环节的战略科技力量主要包括公共科研机构、研究型大学以及极少数的领军企业。基础研究是整个创新的支撑,对科技经济融合具有重要意义,但我国基础研究领域长期存在投入不足且结构不合理问题,这直接导致我国战略科技力量方面相对薄弱。据《中国科技统计年鉴》数据统计,2006年以来,我国研发经费的总体投入水平不断攀升,已成为世界第二大研发投入国,2021年研发经费占GDP的比重已升至2.44%,已接近OECD国家疫情前2.47%的平均水平。但我国基础研究占总研究经费比重曾长期低于5%,2015年才达到5.1%,2021年为6.09%,但2015年—2020年,美国基础研究领域经费占比高达15%~20%。不仅如此,企业基础研究领域的投

入差距更为明显,依据经合组织科学技术指标数据库(OECD Scientific and Technological Indicators Database),2007—2017年期间我国企业基础研究投入,占全国基础研究总投入的3.2%,而美、日、欧企业基础研究经费约占其研究总经费的20%。近期热议的数字经济企业扎堆下沉社区电商、打造粉丝经济等现象以及联想集团研发投入强度长期不足等案例均表明,我国部分数字领军企业从事“硬核”攻关的意愿不足,缺乏向“硬核”不断冲锋的战略雄心。此外,高校院所一直在科技管理体制和科研项目组织形式上面临束缚较多、体制僵化等问题,长期以来,我国的科技资源在生产、分配等多个环节仍然存在大量的行政管制,以现代科研院所制度为核心的体制机制仍未建立,“揭榜挂帅”等竞争机制远未健全,科研院所的运行管理和科技资源的生产分配主要以行政手段为主。现行的人事、考核和评价办法使科研人员容易短视化,急功近利,更多科研人员难以从“追项目”向“出成果”和“转成果”转变。一些科研院所改制企业没有真正落实“改制”,在混改过程中裹足不前。

2.2 由于“1-10”环节的技术鸿沟缺乏有效的创新生态支撑,战略科技力量难以形成合力推动科技与经济融合

目前,从事这一环节的战略科技力量主要包括高校院所、领军企业、新型研发机构。与“0-1”环节主要是原始创新不同,“1-10”环节的主要任务是将创意衍生出的原始产品进行概念验证、小试乃至中试。在这个环节中,科技成果孵化、熟化和转化成为关键,需要一个良好的创新创业生态。在这个生态中,孵化加速机构、科技中介、创投资本和社会组织作为中间组织发挥着重要作用,虽然它们并非战略科技力量,但已经成为战略科技力量生态中不可或缺的组成部分。目前,战略科技力量在整合这一部分力量方面尚存在问题:一方面,相关生态仍不健全,以科技服务业为例,目前我国科技服务业发展与

发达国家和美国的差距较大,总体仍处于起步阶段。科技服务业是知识密集型服务业的典型代表,是制造服务业的重要组成部分,与高技术服务业、战略性新兴产业都有着较大交集,但我国科技服务业仍然存在规模偏小、链条较短、盈利能力弱、专业度不高、集中度偏低、区域差异大等现实问题,不少孵化机构仍然高度依赖政府补贴、房租收益,没有形成与孵化机构紧密的利益捆绑机制。另一方面,战略科技力量的布局在部分环节存在缺失。我国非常重视战略科技力量在“一头一尾”的布局,但对于小试、中试和共性技术平台方面的重视程度则相对偏低。

2.3 由于“10-100”环节因材料、工艺等制约难以形成高质量工程化研究,战略科技力量不足以保障经济韧性

目前,从事这一环节的战略科技力量主要包括高校院所、领军企业、新型研发机构、共性技术平台、工程技术研究中心等。当前,普遍存在将战略科技力量与基础研究、原始创新“划等号”的看法,认为战略科技力量主要从事基础研究,其核心功能就是解决“0-1”环节的“卡脖子”问题,这种认识并不全面^[9]。现实中,我国“卡脖子”问题中有相当一部分是集中于“10-100”的工程化环节,如半导体领域由于单晶硅、光刻胶等基础材料存在短板,以及前道检测设备、高精密制备技术欠缺,导致一些核心关键零部件的良品率低、生产成本低,即便部分环节攻克了“0-1”问题,接近甚至超过国外同类产品的性能参数,但由于不经济、不可靠而无法产业化。目前,我国严重缺乏类似共性技术平台等可在“10-100”环节完成突破的战略科技力量。

2.4 由于“科学——技术”间的前瞻性引领、反哺式体系和创新链循环缺乏,战略科技力量的功能被严重削弱

释放战略科技力量的潜能,需要形成科技、产业、金融的良性循环,但我国在这方面仍然存在

在诸多短板。其中一个突出的问题是,缺乏产业资金反哺基础研究和耐心资本支持科技创新的机制。目前我国的金融体系仍以大银行大机构为主导,主要的投资偏好是国有企业和大型企业,针对科技产业的金融供给明显不足。创业投资基金也明显倾向于模式创新,对于原始创新和基础研究关注不足。部分政府出资设立的引导基金碍于考核方式等因素,难以充分发挥战略杠杆的作用。科技创新本身也缺乏金融资金供给所需的信用能力,科技保险、知识产权抵押等实施难度较大,且在实践中银行往往还要求附加固定资产抵押。此外,由于上市制度正在从核准制向备案制转型,金融投资科技创新以后,退出机制仍然十分匮乏,上市难度较大,金融创新投资的生态仍不健全。

3. 增强国家战略科技力量的思路与任务

3.1 避免误区厘清定位

第一,不能仅仅重视“四路纵队”(国家实验室、国家科研机构、高水平研究型大学、科技领军企业)的单兵作战发展,而是要注重协同作战。目前,国家战略科技力量的组成部分已基本明确,但这些“部队”仍未形成合理分工^[10]。比如,“0-1”环节主要承担基础研究的职能,是我国的突出短板,是否应由高水平研究型大学主要来承担。“1-10”环节主要是概念验证、小试乃至中试等成果转化阶段,是否应由国家科研机构、新型研发机构、领军企业等形成合力共同推动科技与经济融合。“10-100”环节主要是大规模产业化阶段,是我国事实上存在“卡脖子”技术最多的环节,其本质是受制于材料、工艺等因素,是否应由国家实验室和科研院所牵头来帮助企业突破攻关。但目前,这些主体在整个国家创新链和创新体系中的定位并不清晰,还存在“既要”“又要”的思维惯性,不同部队依然更多强调单兵作战能力,协同作战意识还不强。

第二,不可仅瞄准某个具体“卡脖子”环

节，而是要系统谋划从基础研究到应用基础研究再到工程化产业化的全创新链过程^[1]。调研中发现，各界对国家战略科技力量的定位更侧重于“补短板”和“攻关”，而对以原始创新、前沿创新为主要内涵的基础研究重视不足，国家战略科技力量的“威慑力”并没有得到充分体现。事实上，我国当前不仅面临“补短板”的紧迫需求，还有“锻长板”“杀手锏”等环节需要重视。不宜“头痛医头、脚痛医脚”，把“缺什么”等同于“补什么”；也不宜把风险视为洪水猛兽，因为并非所有风险都等同于“卡脖子”。要分清哪些是技术水平落后，想干却干不了；哪些是经济性落后，想干却不经济；哪些环节拥有话语权和威慑力，必须形成反制能力；哪些是相互依存，短期内不可能“脱钩”。这才是中国特色的国家战略科技力量所应明确的问题

第三，增强战略科技力量不仅涉及供给侧，更需要需求侧的政策协同。战略科技力量能否真正发挥作用，关键是能否充分匹配供需，更好促进科技成果转化成为现实生产力。但事实上，如果没有配套形成良好的利益机制，增强战略科技力量的成效也将大打折扣。比如，对于生物医药领域这类涉及监管环节较多的行业，“揭榜挂帅”等制度只解决了创新源头的“卡点”，但后续如何加快审批上市、如何开展政府招标采购、如何促进国产替代等方面还没有相应配套政策，导致“有成果”但“难应用”，与预期效果还有一定差距。

因此，未来一段时期增强战略科技力量的思路是，充分发挥国家作为重大科技创新组织者的作用，探索社会主义市场经济条件下新型举国体制，实现我国国家创新体系的战略重点从“引技”到“引智”和“建制”转变，真正为实现科技自立自强服务。换言之，增强国家战略科技力量就是要把当前已有的“四路纵队”，明确定位，重新排兵布阵，形成有效组合的“特种部队”，完成特定任务，真正发挥战略科技力量“四两拨千斤”的引领作用，进而带动国家创新

体系效能整体提升。

3.2 应把握的基本原则

一是坚持“国”“民”结合。战略科技力量的建设，绝对不仅是“国家队”的事情，而是全社会的事，要求最大限度调动企业创新主体积极性。为此，要加速创新组织模式和协调机制，调动多主体、多形式参与国家战略科技力量布局。在重大技术攻关“揭榜挂帅”的“拉榜”“揭榜”“挂帅”等不同阶段，积极吸引创新型企业参与。确保科技创新设施更广范围更深层次惠民，加速推动国家实验室、全国重点实验室、工程研究中心、重大科技基础设施等硬设施向包括企业、民间资本、科研院校、创业团队、新型研发机构等的社会公众开放。

二是坚持央地结合。改变当前国家实验室、全国重点实验室、工程研究中心、重大科技基础设施等平台建设过程中，由国家布点挂牌、事前或事后一次性补贴的操作模式。在前期立项、遴选环节吸纳地方参与，在后期运营、维护环节探索创新央地共同出资模式。加快形成国家战略导向及时向地方宣贯的机制，鼓励地方在深入对接国家重大战略需求过程中发挥自身优势，实现技术跨越、产业转型和经济社会高质量发展。引导地方借鉴国家建设大平台、大设施的方式方法，形成“马不扬鞭自奋蹄”“有牌子好好干，没牌子自己创造条件也要好好干”的竞相发展新局面，探索形成事后“一揽子”评价并奖励、补贴的新扶持机制。

三是坚持软硬结合。持续深化对国家战略科技力量的认识，打破重硬轻软、重平台设施轻体制机制的惯性思维，确认其“机构+要素+机制+制度”的基本特征。在现有基础设施平台布局框架下，探索设立若干国家战略科技力量改革创新示范区。在京津冀、长江经济带、粤港澳等区域，积极探索壮大国家战略科技力量储备的组织架构模式，率先形成有利于创新成果惠及经济社会发展的制度体系。

4. 重大举措建议

4.1 分类施策, 培育和建设国家战略科技力量单元

按照党的二十大关于完善科技创新体系的相关要求,把握好既要分工又要协同的原则,加快制定国家实验室、国家科研机构、高水平研究型大学、科技领军企业等“四路纵队”协同配合方案,不断优化定位和布局。把国家战略科技力量单元布局于基础科学、工程科技、产业技术等国家创新体系的各个组成部分,形成国家战略科技力量的有机组成单元,力争打造国家战略科技力量的“主力部队”“预备队”“青年队”等梯度网络圈层,确保国家战略科技力量时刻都有战斗力,力争在新发展格局中下好“先手棋”、打好“主动仗”。

4.2 聚焦重点, 实施战略科技力量重点攻坚工程

坚持有限目标,抓紧研究提出可有力带动经济转型升级的“国家产业核心技术清单”,在事关统筹发展和安全的领域重点部署若干标志性战略工程,制定相应的行动计划和实施方案,明确发展路线图、时间表和相应的技术经济政策支持措施。要打好科技型龙头企业保卫战,重点瞄准人工智能、生物技术、空天深海、新能源等领域,用足用好强大的国内市场,进一步加大财税、政府采购等政策支持,激励企业加大研发投入,支持企业加强产学研联合,建设产业创新中心、行业研究院等新型共性技术研发平台。

4.3 完善机制, 建立健全国家战略科技力量组织模式

要加强顶层设计,建立国家战略科技力量决策咨询委员会,确保国家战略科技力量代表国家利益,始终为国家发展服务,避免目标发散、“面面俱到”,变成“四不像”。要建立以“任务制”为导向的国家战略科技力量组织模式,通过明确的国家任务来组织队伍、分配资源、评价考核。积极探索通过“揭榜挂

帅”“赛马”等制度,发现、挖掘和选拔国家战略科技力量的参与机构和人员。学习借鉴军民融合发展经验,积极探索形成政府与市场相结合的投入机制和组织模式。

责任编辑:李琦 校对:李琦 梁思琪

参考文献

- [1] 樊春良.国家战略科技力量的演进:世界与中国[J].中国科学院院刊, 2021,36(5):11.
- [2] 中国科学院.世界科技强国:中国与世界[M].北京:科学出版社, 2018.
- [3] 陈劲,朱子钦.加快推进国家战略科技力量建设[J].创新科技, 2021. 21(01): 1-8.
- [4] 肖小溪,李晓轩.关于国家战略科技力量概念及特征的研究[J].中国科技论坛, 2021(03):1-7.
- [5] 贾宝余,王建芳,王君婷.强化国家战略科技力量建设的思考[J].中国科学院院刊, 2018, 33(6):9.
- [6] 陈曦,卞靖.发挥科技创新关键作用 加快构建新发展格局[J].中国经贸导刊, 2021(05):44-47.
- [7] 任晓刚,张惠娜.坚决打赢关键核心技术攻坚战 努力实现高水平科技自立自强[N].科技日报, 2021-6-25.
- [8] 习近平.为建设世界科技强国而奋斗——在全国科技创新大会、两院院士大会、中国科协第九次全国代表大会上的讲话[M].北京:人民出版社, 2016.
- [9] 曾宪奎.我国构建关键核心技术攻关新型举国体制研究[J].湖北社会科学, 2020(03): 26-33.
- [10] 高旭东.实现科技自立自强的核心要求与战略措施[J].清华管理评论, 2021(5):12.
- [11] 高鸿钧.加强国家战略科技力量协同 加快实现高水平科技自立自强[J].中国党政干部论坛, 2022(02):6-11.
- [12] 张杰.构建中国国家战略科技力量的途径与对策[J].河北学刊, 2021,41(05):171-181.

Research on ideas and policies to enhance the national strategic scientific and technological strength

Han Qi¹, Jiang Jiang¹, Yu Xiaoyu¹, Zhang Mingshen²

(1. Institute of Industrial and Technological Economics, National Development and Reform Commission, Beijing 100038, China; 2. Institute of Economic Research, National Development and Reform Commission, Beijing 100038, China)

Abstract: At present, China is in a critical development stage of comprehensively building a national strategic scientific and technological strength. The article sorts out the connotation and characteristics of the national strategic science and technology strength, and analyzes the existing problems and the main reasons. The article proposes that there are shortcomings in the basic research level in the "0-1" link, and science and technology and economic integration are not close in the "1-10" link, the "10-100" link provides insufficient support to economic resilience, and the function of strategic scientific and technological strength is relatively weak. It is suggested that we should cultivate and build a national strategic scientific and technological strength unit, carry out several major projects of national strategic science and technology strength, establish and improve the organizational model of national strategic science and technology strength.

Key words: strategic scientific and technological strength; Chinese characteristics; policy research

(上接第8页)

Construction of competence of strategic scientific and technological talents in China and countermeasures

Chen Jin^{1,2}, Yang Fang^{1,2}

(1. School of Economics and Management, Tsinghua University, Beijing 100083, China;
2. Research Center for Technological Innovation, Tsinghua University, Beijing 100083, China)

Abstract: Strategic scientific and technological talents are an important force of scientific and technological innovation and a key factor in implementing innovation driven development. Training high-level strategic scientific and technological talents is an important part of building China's national strategic scientific and technological strength. This paper compares Chinese and foreign strategic scientific and technological talents from the perspectives of training scale, training structure and output quality, and combs the overall situation of China's strategic scientific and technological talents; on this basis, this paper discusses the competency model of China's strategic scientific and technological talents, and puts forward countermeasures and suggestions to further stimulate the innovation vitality of strategic scientific and technological talents and promote the development of strategic scientific and technological talents from the aspects of strengthening top-level design, building a high-end platform for collaborative innovation, and improving the long-term mechanism to play its role.

Key words: strategic scientific and technological talents; comparison between China and foreign countries; competency model; countermeasures and suggestions

基础科学发现如何促进新兴产业创新 ——来自2022年度诺贝尔物理学奖的启示

吴培熠¹, 霍佳鑫^{2,*}

(1. 北京航空航天大学人文社会科学学院, 北京 100191; 2. 中国科学技术发展战略研究院, 北京 100038)

摘要: 阿兰·阿斯佩 (Alain Aspect)、约翰·克劳泽 (John F Clauser) 和安东·塞林格 (Anton Zeilinger) 因“纠缠光子实验、证明贝尔不等式不成立和开创性的量子信息科学”共同获得了2022年诺贝尔物理学奖。本文回顾了三位诺贝尔物理学奖得主的成长经历与科学贡献, 介绍了中国在量子信息领域的发展历程, 进而为我国基础科学研究与新兴产业创新发展提供思考。

关键词: 量子信息, 诺贝尔物理学奖, 基础研究, 产业化

2022年10月4日, 瑞典皇家科学院决定将2022年的诺贝尔物理学奖授予法国物理学家阿兰·阿斯佩 (Alain Aspect)、美国物理学家约翰·克劳泽 (John F Clauser) 和奥地利物理学家安东·塞林格 (Anton Zeilinger), 以表彰他们为纠缠光子实验、证明贝尔不等式不成立和开创性的量子信息科学所作出的贡献。在获诺贝尔物理学奖之前, 三位科学家曾在2010年一起因对非局域量子纠缠的观察等实验而获得过沃尔夫物理学奖。

近二十年来, 量子理论在信息领域中的重要性逐步凸显, 其“在信息处理速度、信息安全性、信息容量、信息检测精度等方面将会发挥极大作用。^[1]”于是便诞生了一门新的交叉科学——量子信息学。

本次颁奖委员会在介绍获奖者工作时, 特别提到了中国科学家所做的工作, 这在一定程度上体现了中国在量子信息研究上的重要地位。本文主要关注三个问题: 本届诺贝尔物理学奖获得者

的科学贡献有哪些? 为什么说本届诺贝尔物理学奖背后有中国科学家的贡献? 回顾中国在量子信息领域的贡献对我国开展科技管理有哪些启示?

1. 诺贝尔物理学奖得主的成长经历和科学贡献

1.1 阿兰·阿斯佩 (Alain Aspect) 成长经历和科学贡献

阿兰·阿斯佩, 法国物理学家, 1947年出生于法国阿让, 毕业于法国卡尚高等师范学院。现任法国高等光学学校教授、巴黎综合理工学院教授, 查尔斯法布里实验室量子气体组研究员, 法国国家科学研究中心名誉研究主任。阿斯佩除诺贝尔物理学奖外还获得过法国国家科学研究中心金奖、沃尔夫物理学奖和爱因斯坦奖章。此外, 阿斯佩还是奥地利、比利时、法国、英国和美国的科学院院士。

1969年阿斯佩就通过聚合实验, 获得物理学

作者简介: 吴培熠, 男, 博士, 助理教授, 北京航空航天大学人文社会科学学院, 研究方向为公共管理、新兴技术治理。

霍佳鑫, 男, 博士, 中国科学技术发展战略研究院博士后, 研究方向为科学技术与社会, 科技政策。

* 通讯作者。

项目来源: 中国科协2022年度科技智库青年人才计划资助 (项目编号: 20220615ZZ07110305)。

“一级教师资格”并从奥赛大学获得物理学硕士学位，1983年从法国奥赛巴黎—南德大学获得博士学位^[2]。1971年至1974年，阿斯佩在喀麦隆服过兵役，退伍后担任巴黎高等师范学院的讲师。阿斯佩在研究生涯早期就开展了关于验证贝尔不等式的实验。1980年，他在撰写博士论文时通过“难以捉摸的贝尔不等式实验”证明了贝尔不等式的成立，说明了不存在关于局域隐变量的物理理论可以复制量子力学的每一个预测。进而表明纳森·罗森、波多尔斯基和爱因斯坦的量子力学反证法通常是在一定距离下的幽灵行为。事实上，当两个粒子相距任意大的距离时，这种反证法似乎实现了。

量子纠缠¹作为一种理论——被阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein）所抛弃——当一个粒子一分为二时，两个新粒子的属性保持联系，就好像通过一根看不见的绳子，不管它们相距多远。直到1981年，阿斯佩和他的团队在实验中首次证明了这一现象，在12米（40英尺）的距离上，两个光子（光的单位）纠缠在一起。他的实验最终解决了爱因斯坦和尼尔斯·玻尔（Niels Henrik David Bohr）之间的争论。该实验为阿斯佩所谓的“第二次量子革命”铺平了道路。自此一系列新技术，包括量子计算、加密等开始登上历史舞台^[3]。

1985年，他接受了巴黎法兰西学院原子物理系的教职，之后成为夏尔·法布里光学研究所的高级科学家，后来担任原子光学小组的教授和负责人，并在巴黎理工学院担任教授。阿斯佩拥有着夺目的研究履历，在量子领域开创了多个第一，诸如在实验证明中排除测量站之间的亚光速通信，证明量子力学使可分离隐变量理论无效；通过实验证明单光子的波粒二象性；比较了相同条件下费米子和玻色子的汉伯里布朗-特维斯相关性；证明了超冷原子系统中

的安德森局域化^[4]。

1.2 约翰·克劳泽（John F Clauser）成长经历和科学贡献

约翰·克劳泽，美国理论和实验物理学家，1942年出生于美国加利福尼亚州帕萨迪纳，1964年获得加州理工学院物理学学士学位，1966年获得物理学硕士学位，1969年获得哥伦比亚大学物理学博士学位。

从1969年到1996年，他在劳伦斯伯克利国家实验室、劳伦斯利弗莫尔国家实验室和加州大学伯克利分校工作^[5]。1969年，受约翰·贝尔（John Bell）理论启发，他与迈克尔·霍恩（Michael Horne）、艾布纳·希蒙尼（Abner Shimony）和理查德·霍尔特（Richard Holt）一起首次提出了对局部隐变量理论的检验，并为这些理论提供了第一个实验上可检验的CHSH—贝尔定理预言，即克劳泽—霍恩—希莫尼—霍尔特（CHSH）不等式。1972年，他与斯图尔特·弗里德曼（Stuart Freedman）合作，对CHSH不等式的预测进行了实验。这是世界上第一次观察到非局域量子纠缠。1974年，他与迈克尔·霍恩合作，把局部实在论公式化为局部隐变量理论进行推广，并首次表明贝尔定理的推广为所有的局部实在论提供了严格的约束。这项工作引入了Clauser-Horne（CH）不等式，作为率先由局部实在论提出的完全通用的实验要求，直到2013年才通过测试。他还引入了“CH不增强假设”，据此CH不等式简化为CHSH不等式，由此相关的实验测试也限制了局部实在性。

克劳泽最重要的贡献是对量子力学基础的开拓，特别是CHSH不等式，首次实验证明非局域量子纠缠是真实的（弗里德曼—克劳泽），以及局域实在论的形成（克劳泽—霍恩）。1972年的Freedman-Clauser实验同样被认为足够重要，已经

¹ 量子纠缠是量子世界中一个典型现象，即一对处于量子纠缠态的粒子，即使相隔极远，当其中一个状态改变时，另一个状态也会即刻发生相应改变，这是量子非定域性的一种表现。

成为本科物理实验课程必做项目。

1.3 安东·塞林格 (Anton Zeilinger) 成长经历和科学贡献

安东·塞林格, 奥地利物理学家, 1945年出生于奥地利, 1971年在维也纳大学获得博士学位^[6]。曾担任奥地利物理学会主席, 现任奥地利科学院院长。主要研究领域是量子力学的基础实验, 重点是量子纠缠、量子干涉测量和量子信息。特别是对新颖的纠缠态及其在量子通信和量子计算中的应用研究。正如他在首届艾萨克·牛顿奖章的颁奖词中所提到的因其“对量子物理学基础的开创性概念和实验贡献而受到认可, 这些贡献已成为快速发展的量子信息领域的基石”。除今年的诺贝尔物理学奖外, 他还获得过萨托里乌斯奖、艾萨克·牛顿奖章、沃尔夫奖以及世界科学院的TWAS奖章。

塞林格目前是维也纳大学量子信息研究所物理学教授, 并且他还担任过包括麻省理工学院、慕尼黑工业大学、柏林洪堡大学、牛津大学和法兰西学院的客座教授。与此同时, 塞林格还是包括奥地利、中国、法国、德国、罗马尼亚、俄罗斯、乌克兰、英国和美国的科学院院士。塞林格作为著名的量子信息领域和量子力学基础的先驱, 实现了许多重要突破, 他以纠缠的实验和理论工作而闻名, 最著名的是多粒子纠缠态的实现、量子隐形传态、量子通信和密码学等。

值得一提的是, 塞林格与中国颇有渊源, 他有多位中国学生, 潘建伟院士就是其中之一。他积极推动中奥国际学术交流与合作, 尽可能为中国学者参加国际交流创造条件。不仅如此, 他还在中国科学技术大学、南京大学、西安交通大学担任名誉教授, 为中国青年学子在量子领域的研究提供帮助。塞林格的团队合作参与了中科院主导的洲际量子通信实验, 利用“墨子号”量子科学实验卫星, 在国际上第一次实现了北京—维也纳两地的量子保密通信, 成果入选2018年度国际物理学十大进展。

1.4 小结

三位科学家通过证明贝尔不等式不成立, 验证了量子力学的完备性。克劳泽提出可以证明贝尔不等式不成立的实验, 阿斯佩则弥补了克劳泽实验中的漏洞。塞林格通过更多地实验进行检验, 其团队还利用量子纠缠展示了量子隐态的传输。他们的工作开拓了量子信息科学的研究领域, 成为第二次量子信息革命的先驱。

2. 量子信息在中国的发展历程

量子力学的诞生深刻地改变了人类社会, 在20世纪推动社会发展的核能、激光、半导体等高科技都源于量子力学。中国对量子信息的关注始于20世纪80年代对量子光学研究, 根据对研究成果和技术应用的梳理, 可将中国量子信息发展划分为三个时期: 一是创新积累时期(2001年以前), 二是跟随创新时期(2001—2009年), 三是领跑创新时期(2009年至今)。

在20世纪, 中国已经出现了一些从理论物理、光学和实验物理学领域, 研究量子信息学的学者, 如王育竹、彭堃堦和郭光灿等。他们从自身的学科背景和研究领域出发, 从不同的角度关注并研究与量子信息有关的问题, 日后成为量子信息领域的带头人。

2000年以来, 在科学家的呼吁和推动下, 我国相继设立了一些与量子信息有关的实验室, 包括: 中国科学院量子光学重点实验室、中国科学院量子信息重点实验室、量子光学与光量子器件国家重点实验室等。智力资源的集聚和创新平台的建设为后来的赶超和超越发展奠定了基础。在量子通信领域, 郭光灿团队和潘建伟团队的研究实力逐渐凸显, 通过建立协同创新中心, 成立了技术公司推动成果转化, 在研究与应用领域齐头并进。

从2009年至今, 中国在量子通信技术领域不断取得进展, 发射“墨子号”量子科学实验卫星, 相继建成了芜湖量子政务网、合肥城域网

子通信试验示范网、济南量子通信城域网、京沪干线等，中国在量子信息领域的国际影响力不断提升。

2.1 创新积累时期（2001年以前）：学科布局与建制化

1983年8月，第五届国际量子光学会议在美国罗彻斯特大学召开的，共有8名中国人参会，其中包括：郭光灿、彭堃堦、谢长德、于良、陆启生五名访问学者和吴令安等三名研究生。他们一致认为量子光学，是光学乃整个物理学领域中有较强生命力的学科，在未来几十年内将会有重大的突破，中国在这个领域虽然在当时是一片空白，但是只要奋起直追，措施得力，就可以在这个新兴的领域做出中国人自己的贡献并获得一席之地。郭光灿、彭堃堦、吴令安、谢长德等人商定，回国之后要通力协作，组织和培养国内量子光学的队伍，为振兴中国的量子光学事业而齐心协力。这次小小的聚会成为中国量子光学和量子信息发展的里程碑。

郭光灿回国后的第一件事情就是兑现自己推动中国量子光学发展的诺言。1984年，他用中国科学技术大学资助的3000元在安徽琅琊山醉翁亭召集了全国首届量子光学会议，共有50多人参加^[7]。虽然大多与会者未曾开展过量子光学研究，很多人抱着尝新鲜的态度来参加了这次会议，但是这次会议成为了中国量子光学的起点。

经过近十年的发展，中国的量子光学已经初具规模，在国际和国内的影响力初步形成。1990年10月24日，在成都科学技术大学（后并入四川大学）举办的第四届全国量子光学会议上，中国物理学会常务理事会正式决定成立量子光学专业委员会，量子光学专业委员会挂靠在中国科技大学，曹昌祺担任主任，彭堃堦担任副主任委员、郭光灿担任副主任委员兼秘书长。在这次会议上，谭维翰做了大会报告，欧发、彭金生，和宁生、高锦月、何林生、曹昌琪等从事量子光学的前辈参加了这次会议，我

国量子光学领域的研究队伍慢慢壮大起来，学科也得以迅速发展，标志着中国量子光学事业从无到有的发展到了新的阶段^[8]。

后来成为中国量子通信领军人物的潘建伟，也在国外实现着自己的“量子梦”。他于1987年至1995年在中国科学技术大学学习，跟随张永德教授攻读硕士学位，先后获理论物理专业学士和硕士学位。1996年他赴奥地利学习，投身塞林格教授门下，三年后获维也纳大学实验物理博士学位，1999年至2001年在维也纳大学实验物理所从事博士后研究。潘建伟与荷兰学者波密斯特（Bouwmeester）等人合作，首次实现了未知量子态的远程传输，这是国际上首次在实验上成功地将一个量子态从甲地的光子传送到乙地的光子上，该成果发表于《自然》杂志。

2.2 跟随创新时期（2001—2009年）：基础研究与技术开发

“20世纪90年代，当量子信息作为一门新兴学科在国际学术界悄然萌芽时，郭光灿敏锐地意识到，这是极富有生命力的崭新发展方向，是中国可能在国际学术界占据一席之地的大好机遇。^[7]”2001年，经过多年“屡战屡败，屡败屡战”，郭光灿申请到科技部“量子通信和量子信息技术”“973”项目（现国家重点基础研究发展计划），这也是我国第一个量子信息领域的“973”项目。与当年推动量子光学的发展一样，郭光灿希望整合全国力量共同研究量子信息技术。

五年后，项目以优秀结题，不仅产出了一批出色的研究成果，而且在全国各地初步建立起了若干的研究基地，更为重要的是培养了一支杰出的科研团队，项目中的四位课题组长：郭光灿（2003年信息技术科学部），彭堃堦（2003年信息技术科学部），孙昌璞（2009年数学物理学部）和潘建伟（2011年数学物理学部）先后被评为中国科学院院士。2015年，课题组成员杜江峰也被评为中国科学院院士（数学物理学部），有

10多位年轻学术骨干后来作为首席科学家承担了科技部“973”项目, 这在整个学术界是一个非常罕见的现象。

量子通信技术的创新来源于量子信息科学的研究, 是科研和实践相互作用产生的。在量子通信的发展过程中经历了从基础研究到应用研究的过程。在世纪之交, 我国相继设立的一些与量子信息有关的实验室也开始从事技术的开发工作。2007年, 潘建伟团队在世界上首次实现了基于诱骗态方案的超过100km的光纤量子通信实验。2009年, 郭光灿团队在安徽省芜湖市建成世界上第一个“量子政务网”并投入了试运行。

经过20年的发展, 中国逐渐形成了几个主要的研究团队。分别是中国科技大学的郭光灿团队、潘建伟团队和杜江峰团队, 以及山西大学的彭堃堦团队, 各个团队在研究量子信息研究方面呈现你追我赶的架势。

2.3 领跑创新时期(2009年至今): 技术扩散与产业化

2016年8月, 我国自主研发的世界首个量子科学实验卫星——“墨子号”发射成功, 人类首次迈向真正意义上的卫星和地面之间的量子通信。

“墨子号”拥有三大科学任务: 星地量子纠缠分发及非定域性检验、星地量子密钥分发、星地量子隐形传态。“墨子号”的主要目标是: 一是做卫星和地面之间的量子通信; 二是能够通过卫星实现远距离的纠缠光子分发, 测试量子纠缠现象, 并在远距离地点之间对量子力学预言的非定域性进行检验; 三是做量子信息的远距离传送, 即量子隐形传态。尽管现在用光纤上网, 但量子通信的信号在光纤里传输一百公里之后, 99%的信号都损耗掉了。但是上天之后, 通过量子卫星则可以传播几百K的密钥, 大大提高量子保密通信的密钥分发数量^[9]。”

美国和欧洲在量子信息科学发展上一直处于领先地位, 但为什么这次是中国首发量子科学实验卫星? 潘建伟解释发射卫星是一个非常复

杂的过程, 需要一个非常庞大的团队来做, 例如卫星平台、空间光跟瞄、地面大型望远镜的接收等^[10]。除了科研团队之外, “墨子号”是由中科院上海技术物理研究所等将近十几个研究所, 几百人一起完成的。

此后, 随着国家的逐步重视, 整体布局, 我国量子信息技术发展进入快车道。2017年, 世界上第一条无线量子保密通信系统“京沪干线”建成。2020年, 中国墨子号无线量子科学实验室探测卫星在境内国际上率先完成了基于量子纠缠技术的千公里毫秒级无线量子密钥及时分发, 将以往基于地面无中继器的量子保密信息通信的量子空间探测距离精度提高了一个新的数量级^[11]。2021年发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》规划中明确提出了组建量子信息领域的国家实验室, 持续加码量子信息技术, 保持我国在量子领域第一阵营中的地位, 提升我国未来科技竞争力。

3. 启示

通过分析2022年三位物理学诺贝尔奖得主的科学贡献, 并纵观我国在量子信息领域的发展历程, 可以发现基础科学发现促进或转化为新兴产业创新, 具有两个重要因素: 开放的国际化人才体系和有力的政府支持。我国在量子信息领域的发展经验, 可以为其他科技领域的发展提供启示。

关于国际化人才体系建设。一方面, 要优化教育特别是高等教育培养体系, 突破人才甄别选拔困境, 完善人才队伍培养和管理体制, 建立符合科技发展规律的人才发展机制。“完善科研人员评价和奖励制度, 以解决重大战略性科技问题的能力为标准, 强调长期考核和稳定资助, 给人才以用武之地。^[12]”另一方面, 在国际人才培养方面, 需要保持与国际科学界的友好关系, 加强科技人才交流沟通。既要继续支持留学生、访问学者赴国外学习, 也要引进高层次科技人才, 在

全球范围配置人才资源。

政府在研究制定政策支持基础上需要遵循创新规律，有针对性地提供相应政策支持。在创新过程的上游基础研究阶段，需要对理论创新进行持续投入；在创新的中游阶段，需要在国际科技发展趋势下，按照国家需求，鼓励关键核心技术突破；在创新过程的下游和应用开发阶段，需要对技术开发和原型生产、产业化进行支持，引导基础研究向经济应用发展，鼓励高校和科研机构与企业合作，将成果落地。

“随着科技的进步与行业竞争力的加剧，科研创新团队的发展受到的限制和压力越来越大，因此，科研创新团队的发展需要积极寻找外部合作的机会，获取政府、高校和各种社会机构的外界支持。^[13]”从基础研究到产业化需要建立一个整体连贯的科学研究架构和协调机制。这种机制建立可以分为三个阶段，一是基础研究的成果产出，二是基础研究成果向产业化过渡，三是产业化推广。在基础研究向产业化转化的过程中，主要面临两大挑战，一是基础研究的成果识别，二是如何支持基础研究向产业化过渡。

“基础研究是科学体系的源头，是所有技术问题的总机关，只有重视基础研究，才能永远保持自主创新的能力。^[14]”基础研究的推动主要依靠科学家兴趣与国家需求两种形式实现。对于基础研究成果多是以理论、假说的形式存在，在一定条件下存在难以证伪的现实局限性。那么对成果的选择可能会产生资源错配的情况。对于量子领域的研究如果不是早期王育竹、彭堃堦和郭光灿等学者兴趣与对科技发展趋势的研判，并进行持续的研究，很可能导致我国量子领域与国际差距越来越大，制约我国量子信息科学与技术的发展。

可见，对于基础研究的成果识别虽然具有难以预见性，但是也需要采用一些方法，对此李侠教授提出可以采用综合打分法，这种方法把理论的优点分为五个维度，“分别是准确性（accurate）、一致性（consistent）、广谱性

（broad scope）、简单性（simple）、成果丰富性（fruitful），这五项指标可以根据需要设定不同权重，然后计算得分，总分值最高的理论就是最好的理论。^[15]”尽可能筛选出颠覆性基础研究。

更为重要的是基础研究成果向产业化过渡阶段。研究成果需要契合科学发展趋势，也需要符合国家需求。基础研究的关键突破，离不开基础科学项目的支持和资助。与此同时，基础研究成果向产业化过渡，离不开灵活多样的政府支持。在产业应用层面，企业活动需要动用更灵活的政策工具，在政策层面率先缩短基础研究与新兴产业之间的链路。同时，通过开放创新环境，政府可以让企业获得更广泛的应用场景进行技术迭代，进而为我国科技创新探索新模式。

责任编辑：董阳 校对：王萌 李琦

参考文献

- [1] 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, 37(03): 1-14.
- [2] John P. Rafferty [EB/OL]. [2022-10-23] <https://www.britannica.com/biography/Alain-Aspect>.
- [3] Alain Aspect. Nobel-winning father of quantum entanglement [EB/OL]. [2022-10-23] <https://phys.org/news/2022-10-alain-aspect-nobel-winning-father-quantum.html>
- [4] Alain Aspect [EB/OL]. [2022-10-23]. http://en.wikipedia.org/wiki/Alain_Aspect.
- [5] John P. Rafferty [EB/OL]. [2022-10-23] <https://www.britannica.com/biography/John-F-Clauser>.
- [6] Erik Gregersen [EB/OL]. [2022-10-23]. <https://www.britannica.com/biography/Anton-Zeilinger>.
- [7] 郝俊. “量子推手”郭光灿的科学品味[N]. 中国科学报, 2012-07-02.
- [8] 内部资料: 郭光灿《量子光学》学位课程的创立与建设.
- [9] 凤凰咨询. 潘建伟谈量子通信: 欢迎基于科

学实验的严肃质疑[EB/OL].(2016-09-02)[2022-10-23] https://ishare.ifeng.com/c/s/v002drNIOJ8Ph0ymumrCsJFVV6ubIJCTnO8vgQIK-_68RVewWQiYznh--U7Wq4S8fKS5ZdWBZsekho0YjD2o0ubTXvwA_____.

[10] 陈伊凡, 潘建伟.这3个原因使中国成为量子卫星首发国家[EB/OL].(2016-08-24)[2022-10-23]https://news.ifeng.com/a/20160824/49832736_0.shtml.

[11] 李赓.量子通信技术研究现状[J].电子器件与信息技术, 2022,6(03):111-113.

[12] 马双, 陈凯华.美国基础研究体系: 主要

特征与经验启示[EB/OL].科学学研究:1-19.DOI: 10.16192/j.cnki.1003-2053.20220623.001.

[13] 徐玫瑰, 韦浩然, 王冀宁.基于扎根理论的高水平创新团队发展环境研究[J].南京工业大学学报(社会科学版), 2019,18(6):101-110.

[14] 叶玉江.基础研究的新形势和新部署[J].中国基础科学, 2017,19(04):12-13.

[15] 李侠, 李双. 如何识别基础研究领域的颠覆性成果?[EB/OL].(2022-10-8)[2022-10-23] <https://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=space&uid=829&do=blog&id=1355993>.

How does basic scientific discovery promote the innovation of emerging industries: Inspiration from the 2022 Nobel Prize in Physics

Wu Peiyi¹, Huo Jiabin^{2,*}

(1. School of Humanities and Social Sciences, Beihang University, Beijing 100191, China;

2.Chinese Academy of Science and Technology for Development, Beijing 100038, China)

Abstract: Alain Aspect, John F. Clauser and Anton Zeilinger won the Nobel Prize in Physics in 2022 for "entangled photon experiment, proof of Weibull inequality and pioneering quantum information science". This paper reviews the growth experiences and scientific contributions of three Nobel Prize winners in physics, introduces the development of quantum information science in China, and then provides some thoughts on the relationship between basic scientific research and innovation of emerging industries in China.

Key words: quantum information technology; Nobel Prize in Physics; basic research; industrialization

生物正交反应与点击化学研究综述

孟娇龙, 姜雪峰*

(华东师范大学 化学与分子工程学院 上海市绿色化学与化工重点实验室, 上海 200062)

摘要: 2022年诺贝尔化学奖授予了生物正交反应和点击化学的开拓者。生物正交化学反应的发展, 为生命体内化学反应的研究带来了革命性的突破, 其中最灿烂夺目的要属点击化学, 以分子功能为导向模块化的快速搭建, 高效稳定地实现功能分子之间的链接。生物正交化学经历了一系列发展历程, 反应实用场景由试剂瓶走向复杂的生物机体, 并在化学生物学、药物研发、临床诊疗等多个领域展示出广阔的应用前景。生物正交反应和点击化学秉持“大道至简”——用简单高效的方法实现分子的复合功能, 带领化学进入功能主义时代。

关键词: 诺贝尔化学奖, 生物正交反应, 点击化学, 功能主义时代

瑞典皇家科学院10月5日宣布, 2022年诺贝尔化学奖授予卡罗琳·贝尔托齐 (Carolyn Bertozzi)、莫滕·梅尔达尔 (Morten Meldal) 和卡尔·巴里·夏普利斯 (Karl Barry Sharpless), 以表彰他们在发展生物正交化学和点击化学方面的贡献 (图1)。贝尔托齐开发的生物正交化学实现了多种应用, 包括新药研发, 尤其是癌症靶向疗法的开发。在药物研究中, 通常需要人工合成具有药物活性的天然分子, 一般耗时较长且成本高昂。而梅尔达尔和夏普利斯的研究成果“点击化学”将化学链接简易化、高效化、模块化、功能化。获奖者作出的贡献被用于探索细胞和跟踪生命过程; 不仅如此, 研究人员通过生物正交反应提升了癌症药物的靶向性。诺贝尔化学委员会主席约翰·奥奎斯特 (Johan Åqvist) 说到: “今年的化学奖不是关于复杂的问题, 而是用容易和简单的方法处理问题。”^[1]



图1 2022年诺贝尔化学奖得主

1. 生物正交化学的由来及发展

生物正交化学 (Bioorthogonal Chemistry) 这个术语是由卡罗琳·贝尔托齐 (Carolyn Bertozzi) 研究小组创造, 该小组多年来一直引领生物正交化学领域。何为生物正交? 生物正交化学是在生理环境下对生物分子没有干扰、对生物化学反应进程影响甚小的一类反应。判定生物正交反应的标准为: ①反应可在生理环境下进行 (水, 常温和pH值); ②反应具备高选择性、高产率, 且不

作者简介: 孟娇龙, 男, 硕士, 华东师范大学在读博士生, 研究方向为可见光催化的循环化学。

姜雪峰, 男, 博士, 二级教授, 华东师范大学, 研究方向为合成方法创制导向的药用天然产物全合成、功能材料合成; 科学本质建模导向的高端仪器开发、合成自动化与智能化。* 通讯作者。

受生物体内水或内源性试剂（亲核试剂、亲电试剂、还原剂和氧化剂）影响；③低浓度下反应依然高效快捷且可获得稳定的产物。2010年至2020年间的生物正交化学相关数据显示其应用逐年攀升，其中生物成像是研究应用最广的领域，其次是新药研发和药物递送^[5]。

生物正交反应的发展十分迅猛，其时间轴如图2：2000年，施陶丁格链接（Staudinger Ligation）；2002年，铜催化的叠氮—炔基环加成反应（Copper-Catalyzed Azide-Alkyne Cycloaddition, CuAAC）；2003年，基于活性蛋白质的分析技术（Activity-Based Protein Profiling, ABPP）；2004年，环张力促进的叠氮—炔基环加成（Strain-Promoted Azide-Alkyne Cycloaddition, SPAAC）；活体细胞表面聚糖成像（In Vivo Cell Surface Glycan Imaging）；2006年，生物正交非标准氨基酸标记（Bioorthogonal Noncanonical Amino acid Tagging, BONCAT）；2008年，四嗪链接（Tetrazine Ligation）；2010年，荧光非标准氨基酸标记（Fluorescent Noncanonical Amino Acid Tagging, FUNCAT）；2012年，四嗪链接的基因编码（Genetic Encoding by Tetrazine Ligation）；2013年，首次报道点击释

放（Click to Release）；2016年，药物原位自组装（In situ Drug Assembly）；2017年，靶向抗癌药物（Cancer Drug Targeting）；2018年，点击释放（Click to Release），抗体—药物偶联物与四嗪结合给药；2021年，微针技术（Microneedles）；点击释放（Click to Release），聚合物结合的四嗪全身性给药。

2. 生物正交的化学反应

目前已超过二十多种反应被应用于生物正交化学领域，其中施陶丁格—贝尔托齐反应、铜催化叠氮与炔烃环加成反应（CuAAC）、环张力促进叠氮—炔基环加成反应（SPAAC）和四嗪链接（Tetrazine Ligation）等是目前最具代表性的点击化学反应^[6-8]。

2.1 施陶丁格链接（Staudinger Ligation）

最早生物正交反应是基于施陶丁格反应（Staudinger Reaction）的链接。叠氮化合物与三苯基膦反应结合，离去一分子的氮气后形成氮磷叶立德中间体，进而与水作用生成苯胺和三苯基氧膦^[9]（图3）。

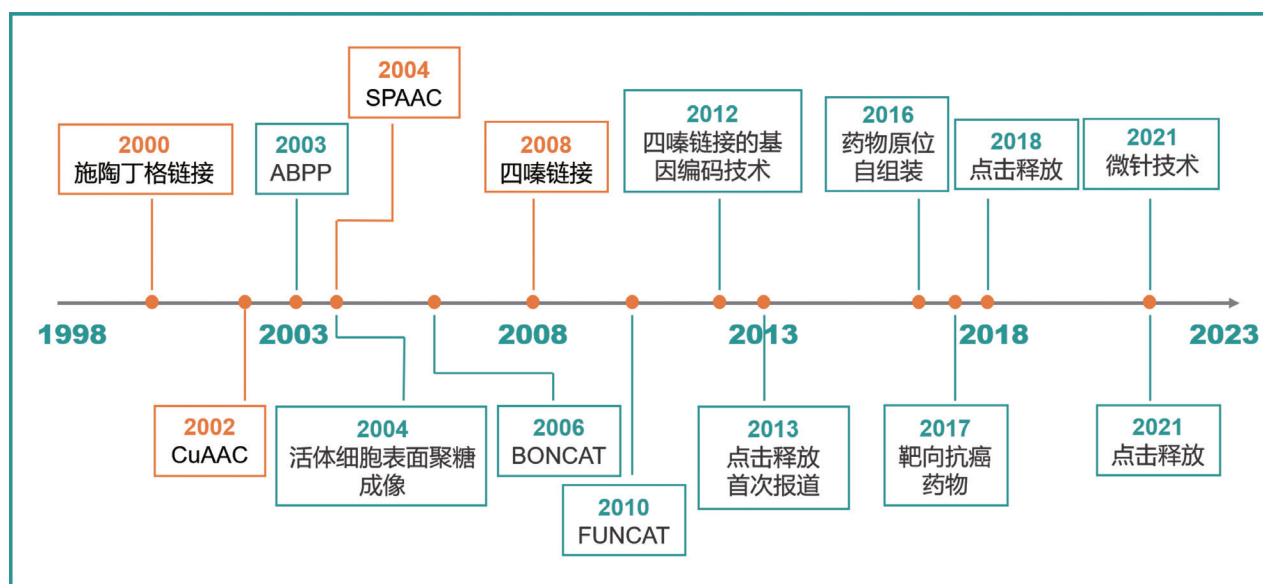


图2 生物正交反应的发展时间轴（以期刊发表时间的先后顺序进行排列）

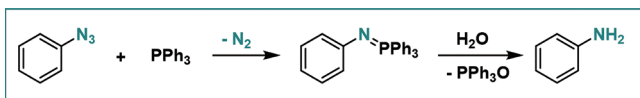


图3 最初的生物正交反应 (Staudinger Reaction)

Bertozzi对经典的Staudinger反应进行了优化,将酯基与三芳基磷试剂安装在同一个分子骨架上(图4)。同样,叠氮化合物与芳基磷结合后会形成四元环过渡态,离去一分子氮气后产生高活性的氮磷叶立德中间体;随后邻位羧酸甲酯的烷氧基与之发生反应,离去一分子甲醇形成酰胺键,实现分子的高效类肽链接^[10]。

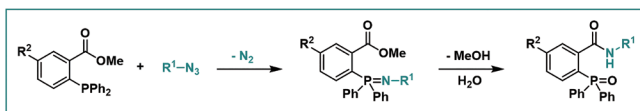


图4 Bertozzi优化后的Staudinger反应 (Staudinger-Bertozzi反应)

2.2 铜催化叠氮—炔基环加成反应 (Copper-Catalyzed Azide-Alkyne Cycloaddition, CuAAC)

CuAAC即为第一代点击化学。何为点击化学?“点击化学”的英文表述为Click Chemistry,其中Click源于美国俚语:click it or ticket it(系好安全带,否则吃罚单)。Click Reaction意指化学反应像系安全带一样简单,“喀哒”扣起来即可实现,这一比喻令点击化学的优势形象生动(图5):效率高、速度快、应用广、条件温和、模块化操作、无毒害副产物等等。点击化学的意义并不仅仅在于降低了操作难度,其简单的操作也为这种技术的广泛应用创造了条件。

1961年,Rolf Huisgen就报道了此类1,3-偶极环加成反应^[11]。但在随后的延伸应用中,由于叠氮化物的毒性与爆炸性、反应条件的高温要求、反应体系的选择性问题等等,导致该反应并未受到太多重视。直到2001年,Meldal教授报道一价铜作为催化剂,叠氮化物和炔烃反应合成1H-[1,2,3]-三唑的1,3-偶极环加成^[12-13]。叠氮化

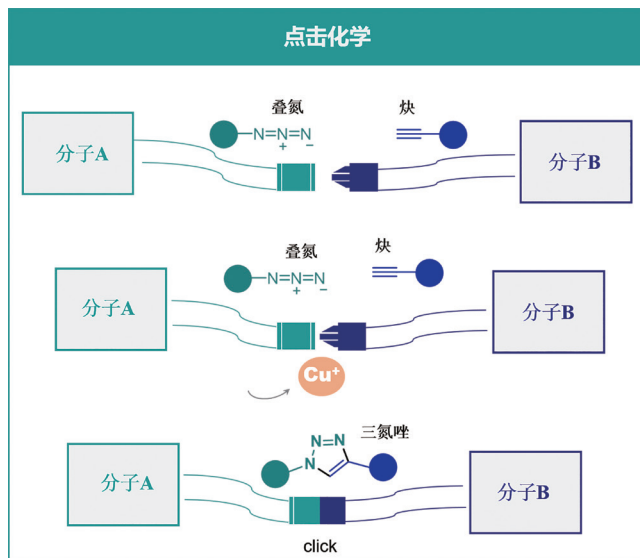


图5 点击化学的“Click”示意图

物和固相负载的多肽分子末端炔烃在一价铜催化下,室温下发生高效快速环加成反应,以高于95%的产率得到单一区域选择性的1H-[1,2,3]-三唑(图6)。反应底物适用范围非常广,伯、仲、叔、芳烷基叠氮和糖基叠氮均能兼容;反应具有优异的官能团耐受性,即使在硫酯/酯/酰胺/Fmoc/三苯甲基和氨基酸的存在下,依然能以高收率获得目标产物。

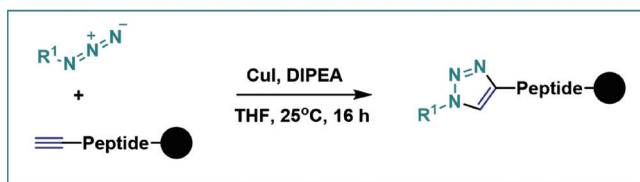


图6 Morten Meldal教授报道的一价铜催化1,3-偶极环加成

同年,美国Scripps研究所的Sharpless教授也独立报道了铜催化叠氮化物-炔烃环加成反应^[14]。他们的反应是在水相中进行,使用的催化剂是CuSO₄·5H₂O,二价铜在反应体系内被原位还原成一价铜(图7)。该水相中的CuAAC反应在化学生物学中被广泛使用,并发展成为点击化学中的主要反应。

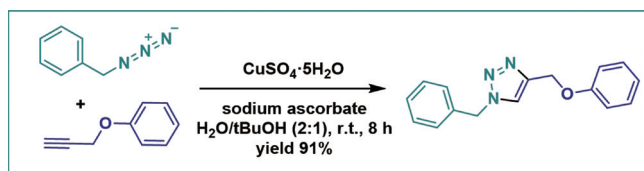


图7 Barry Sharpless教授报道的 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 催化的点击化学

自Sharpless教授正式提出“点击化学”概念以来^[15-17], 点击化学在生物化学、药物化学以及材料化学等领域得到了广泛的应用^[18-20]。点击化学以有机合成子的模块化组装为特征, 强调以碳—杂原子键甚至无机链接的合成为基础, 用简单可靠和高选择性的化学转化来获得更为广泛的分子多样性。效率高、选择性高、条件温和、不受水氧干扰等成为点击化学的显著优势。Sharpless课题组通过在乙酰胆碱酯酶 (AChE) 内使用点击化学令两种抑制剂产生交联并进行linker筛选, 利用叠氮与炔环加成直接结合探针分子, 成功发现了世界上最强的AChE抑制剂之一^[21] (图8)。该研究表明, 原位点击化学方法在先导化合物的发现和优化方面具有巨大潜力。如图8所示, 在其与蛋白质亲和力未知的前提下, 仍然可以在酶的结合位点内找到生成强效抑制剂的高效试剂。因为只要两种成分中的某一种具有足够的亲和力, 就可以作为“锚定分子”。而叠氮化物TZ2在此研究中就是极好的“锚定分子”, 即使在非常低的浓度也可以满足酶活性位点附近的反应^[22]。

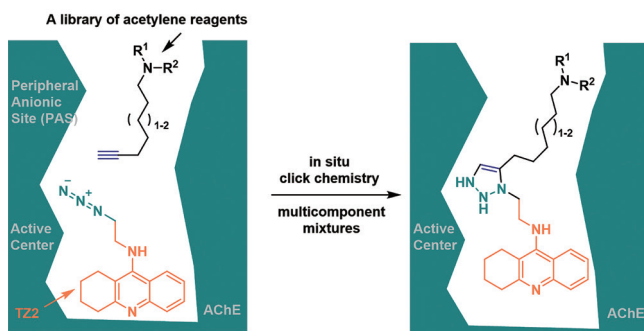


图8 AChE抑制剂的原位点击化学筛选

由于CuAAC中使用的二价铜会在细胞中产生“活性氧”物种 (ROS) 引起氧化损伤, 而抑制

一价铜氧化为二价铜需要添加抗坏血酸等还原剂, 产生的副产物同样具有细胞毒性, 这些都导致CuAAC在活体内的应用受阻。为了使CuAAC适用于活体内研究, 各种配体稳定铜催化剂的工作引起广泛重视^[23-24], 研究者通过优化铜催化剂的配体来改善细胞通透性, 使它们在生命系统中更加实用。常规的点击化学CuAAC反应体系在药物化学和材料化学等领域的广泛应用也不断遇到新的问题^[25]: CuAAC需要使用一价铜作为催化剂, 需要无氧环境保持催化活性, 且铜催化剂具有一定的毒性, 反应后的金属残留限制了CuAAC反应在生物医药材料方面的应用; 反应过程中使用的叠氮化物通常需要以易爆且剧毒的叠氮钠作为原料合成, 存在一定的危险性。

Sharpless团队在2014年发现了第二代点击化学: 硫(VI)-氟交换反应 (SuFEx)。其在无金属参与条件下实现的分子高效链接强大而可靠。有机硫氟化物的研究历史悠久, 最早可追溯到19世纪中期^[26]。直到20世纪20年代Steinkopf的工作, 有机硫氟化物的特性才被广泛认识。同时, 上海有机所陈庆云课题组针对硫氟化物的研究也是重要启发。自1989年“陈氏试剂”氟磺酰二氟乙酸甲酯 ($\text{FSO}_2\text{CF}_2\text{CO}_2\text{Me}$ 或 MFSDA) 报道以来, 便广泛用于芳基、烯基甚至烷基卤化物的铜介导三氟甲基化反应^[27-28]。数十年来, 该试剂作为二氟卡宾前体和自由基二氟烷基化试剂得到了进一步的发展。这些工作促使了近一个世纪后SuFEx点击化学的出现^[29]。与常见的硫氯键 (S-Cl) 不同, 硫氟键 (S-F) 具有很高的化学稳定性, 可以耐受各种异常苛刻的反应条件; 且可以通过精准的活化释放出潜在高效的反应性, 实现精准控制的亲核硫氟交换。这种带着难以置信的“反差萌”反应性的高价硫氟化物横空出世, 打开了点击化学世界的新大门。这些像安全带锁扣一样高效快捷的链接特性, 都归因于动力学稳定性和热力学反应性的“矛盾性结合”。

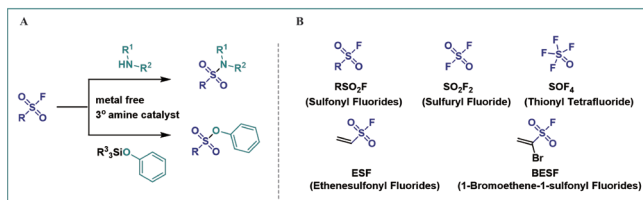


图9 硫氟交换化学 (SuFEx)

及模块化实现点击化学的硫氟交换 (SuFEx)

注: A: SuFEx; B: 模块化实现点击化学的硫氟交换 (SuFEx)。

SuFEx试剂在特定条件的活化下又可通过亲核取代发生脱氟反应。硫氟交换化学利用硫氟官能团这一特殊的稳定性与反应性相结合的性质,通过乙烯基磺酰氟(ESF)、硫酰氟(SO_2F_2)、四氟氧硫(SOF_4)等含氟硫砌块与酚胺等亲核试剂反应得到硫氟交换底物,进而实现高效的化学转化和分子链接,被称为新一代点击化学(图9)。该类反应不受空气和水分等环境因素影响,不受自由基影响,同时也不产生自由基,具有良好的热稳定性和紫外线稳定性,只需要简单的步骤就可以得到高度稳定的硫氟交换反应前体,一定程度上解决了经典点击化学反应的诸多问题^[30]。因此,硫氟交换点击化学已在材料化学^[31-32]、药物化学^[33]和生物化学^[34-36]等领域展现出巨大的应用价值。用于创建分子间链接的“分子插件”概念,覆盖了生物SuFEx的新兴领域,所涉及的研究方向包括:生物偶联、反向药物发现(Inverse Drug Discovery, IDD)和新型SuFEx药物发现(使用“睡美人”式探针)。SuFEx点击化学涵盖的应用领域广泛,例如合成化学、生物化学和药物发现、聚合物和材料科学等(图10)。

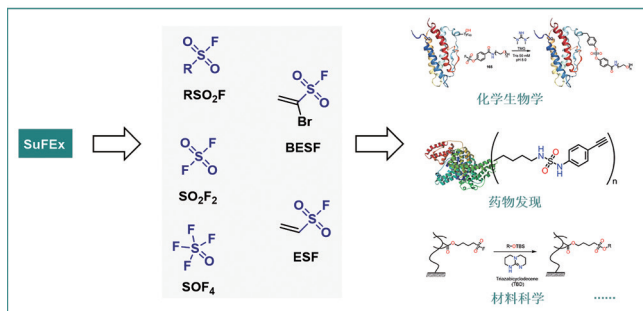


图10 硫氟交换 (SuFEx) 点击化学在各领域中的应用

硫氟化学从二十世纪初起源以来取得了长足发展, SuFEx反应特征鲜明: 首先也是最重要的是其反应条件不含金属, 这在下文讨论的化学生物学和药物化学中的应用具有十分重要的意义; 其次, 与CuAAC形成的三氮唑链接相比, SuFEx链接形成的分步链接更加多样化, 可以通过与芳基硅基醚、胺和碳亲核试剂的硫氟交换形成新键; 最后SuFEx和CuAAC的一个关键区别在于反应底物, CuAAC的点击化学通常需要先先将叠氮官能团安装到反应偶联的骨架上, SuFEx在这方面通常更灵活, 是通过系列的SuFEx-hub (如 SO_2F_2 、 SOF_4 和ESF, 俗称“分子插件”) 将常见的天然官能团(如胺和酚等)结合起来实现的。 SO_2FN_3 与一级胺类化合物的快速交换构建叠氮库的反应, 高效模块化地构建了点击化合物库^[37](图11)。氟代砷亚胺与炔烃、烯烃这些不饱和键的SuFEx链接, 也带来了碳链接的新局面^[38-39]。点击化学的发展吸引了全球生物化学家, 正朝着多元化方向发展, 多种反应均被纳入到点击化学的范畴中。

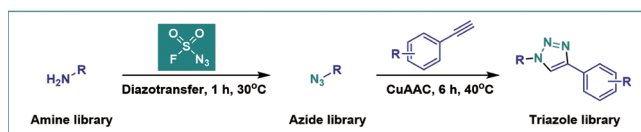


图11 SuFEx点击化合物库的构建

2.3 环张力促进叠氮-炔基环加成 (Strain-Promoted Azide-Alkyne Cycloaddition, SPAAC)

无铜 (Cu-Free) 点击化学, 或环张力促进叠氮-炔基环加成 (SPAAC) 最早由Bertozzi开发。避免了铜催化剂的使用, 促使该反应可以在活体 (*in vivo*) 中进行。其次, 相较于末端炔烃, SPAAC的副反应更少。其对于反应环境兼容性很高, 在酸性、碱性、水等诸多条件下均能反应。SPAAC中底物环辛炔特点鲜明: 炔基碳 (sp 杂化) 通常夹角为 180° , 但环辛炔的环状结构将 $\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}$ 的键夹角扭曲至 160° (环辛

炔是能被分离出的分子内张力最大的炔烃), 其能级更接近于反应过渡态, 这种高张力分子的底物被证实非常适合点击化学反应。但是, 与CuAAC相比未取代环辛炔的SPAAC反应速率明显更慢。因此, 科学家一直致力于提高环加成的速率: ①在环辛炔上引入吸电子基团(如氟原子); ②在环辛炔上添加氮原子; ③修饰为二苯并环辛炔。较为成功的例子是4-二苯并环辛炔(DIBO)和杂氮二苯并环辛炔类化合物(DIBAC), 随着环张力的增加, 它们与叠氮化物的反应速率更快, 同时分子骨架大小还可以调节在生物体内对接生物分子的效率。双环[6,1,0]壬炔(BCN), 结合了环辛炔的高反应性, 又缩小了分子骨架, 更容易进入生物大分子(如蛋白质和聚糖)^[40](图12), 也促进了SPAAC在生物正交化学中的广泛应用。

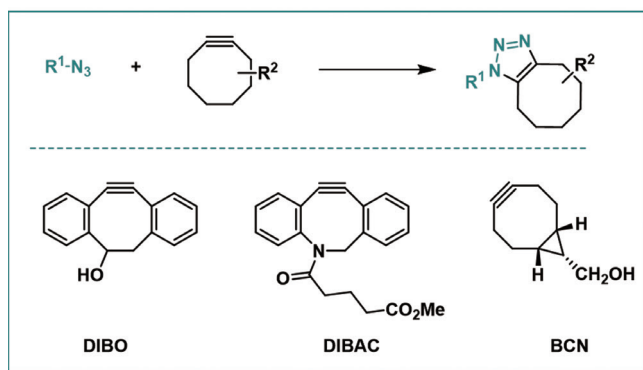


图12 SPAAC生物正交反应

2.4 其他生物正交反应

(1) 四嗪链接(Tetrazine Ligation)。Joseph M Fox和Scott A Hilderbrand课题组首次报道了四嗪链接生物正交法^[41-42]。四嗪类化合物与烯烃发生逆电子需求的Diels-Alder反应(iEDDA), 随后释放氮气生成并环辛烷二氢吡啶类化合物。该反应适用多种亲双烯体, 常见的多为张力环烯(如反式环辛烯)。四嗪链接的快速动力学使得该反应在活细胞中的应用中几乎是最佳的。然而, 四嗪化合物在水相或

含有硫醇的体系中稳定性并不好, 反应性最高的四嗪也成了最不稳定的因素。带有取代基的四嗪类化合物, 特别是单甲基取代的四嗪类化合物, 在没有大幅降低反应性的情况下显示出优异的稳定性。随后, Prescher课题组报道了1,2,4-三嗪类在iEDDA反应中的应用^[43], 在保证各类亲双烯体同样优异的iEDDA反应速率下, 三嗪类对应的四嗪类化合物更稳定。同时, 亲双烯体的结构优化可以平衡稳定性与反应性, 所以反式环辛烯是目前研究最广泛的亲二烯体, 可以异构化为更稳定、不具有反应性的顺式环辛烯。Bonger等人开发了乙烯基类硼酸, 此类亲双烯体是水溶性的, 稳定却反应性高^[44]。乙烯基硼酸类化合物的硼酸与苯酚羟基有弱配位作用, 可以拉近两个反应物之间的距离, 促使它们快速发生分子内iEDDA, 实现了生物体内快速的四嗪链接。

(2) 四氮唑链接。1967年, Huisgen首次报道了四氮唑化合物与乙烯类化合物在紫外光照驱动下发生1,3-偶极环加成反应, 最终生成二氢吡唑^[45]。然而, 紫外线对人体组织的穿透能力有限, 不易作用至体内分子; 且长时间暴露在紫外线下会对细胞造成损伤, 使得此反应应用受限。后来, Qing Lin课题组实现了近红外光下双光子诱导该反应的光点击反应^[46]。

(3) 羟肟链接。在羟肟链接中, 由于酮官能团对生物分子的安全性及惰性, 酮类要优于醛类。然而酮的反应速率大幅低于醛, 改善其动力学一直是科学家们聚焦的热点, 例如使用苯胺以及间苯二胺作为催化剂。但由于生理环境下的反应动力学缓慢, 生物体内的肟链接研究当前仍具挑战^[47]。

(4) 异腈四嗪链接。异氰类化合物可与四嗪类化合物发生[4+1]环加成, 形成双环希夫碱中间体, 通过逆Diels-Alder反应离去一分子氮气后产生异吡唑。由伯烷、仲烷基异氰化物衍生的异吡

唑是不稳定的，会异构化为亚氨基吡唑。随后亚氨基吡唑水解得到氨基吡唑和醛酮，导致该反应并不适合生物正交。而叔异氰化物衍生的异吡唑不会发生异构化，在水相中水解缓慢，从而得到更稳定的异吡唑产物^[48]。

3. 生物正交化学的应用

随着生物正交反应类型逐渐增多，已被广泛应用到药物开发、药物递送、生物标记及成像等多个领域。同时该反应也拓展至不同类型的生物分子，如蛋白质、聚糖、脂类和核酸等，让我们看到了生物正交化学在生物化学领域的广阔应用前景。

3.1 功能维度

3.1.1 药物开发 比如抗体药物偶联物（ADC）合成，CuAAC在ADC合成应用中具有巨大的应用前景^[49]。目前，研究人员已设计出基于CuAAC的高效率ADC合成方法，由此发展出的偶联技术能够利用天然糖基化位点实现定点偶联，可将单克隆抗体在短短几天内转化为稳定的ADC。该技术基于两个过程：首先是酶重塑（修饰和用叠氮标记），然后是基于无铜点击化学的高效链接。不仅如此，还有基于点击化学的PROTAC合成，利用点击化学平台使用Cereblon（CRBN）和Von Hippel-Lindau（VHL）链接酶配体制备PROTAC库，用于实现在两种肺癌细胞中靶向降解BRD4蛋白，进而杀死癌细胞^[50]。

3.1.2 药物递送 生物体内正确给药对于机体作用至关重要。当一种药物在错误的时间或位点发挥作用时，它可能没有达到期望的效果，甚至可能引起严重的副作用。精准控制药物递送及释放是提高药物疗效、减少副作用的一种方法。生物正交化学通过控制药物释放的时间和位点，常用于药物在体内精准释放、定位及作用。由于反式环辛烯（TCO）和四氮嗪的反应高效快捷，常应用于“点击释放”。生物正

交化学可以通过生物正交标记的代谢整合来控制药物释放的位置，从而提高药物作用效率。聚糖常见于细胞表面，特异性聚糖调节细胞免疫反应。生物正交化学同样可用于小分子前体药物组装，从而最大限度减少脱靶效应。它可使细胞内产生渗透性较低的药物，减少药物进入细胞遇到的阻碍。1986年，Rideout课题组首次实现了这一想法^[51]，使用辛醛和N-氨基癸基胍形成脎，其可促使生物膜破裂，进而导致细胞死亡（虽然醛和酮在技术上并非生物正交反应，但反应却又发生在细胞膜内）。因此，可以认为该反应属于生物正交反应。2016年，Bradley小组使用固载纳米铜颗粒来催化叠氮-炔环加成产生线粒体选择性荧光，并表明它可以选择性地线粒体成像。同样使用CuAAC方法制备了combrestatin A4的类似物，该类似物可使SKOV-3细胞的生长增殖降低70%，且含铜纳米颗粒植入斑马鱼体内，未观察到毒性^[52]。

3.1.3 生物标记和成像应用 细胞表面生物分子的生物学活性可以直观表达细胞状态信息。因此，选择性示踪以及针对细胞表面生物分子修饰的研究是十分必要的。当前传统的方法主要是通过不同的生物配体（包括抗体、寡核苷酸适配子和肽类等）来修饰成像探针，而这些生物配体可以靶向并特异性地附着在细胞表面的内源性生物分子上，进而实现标记成像。然而，由于细胞表面靶向生物分子数量并不多，以及成像探针的非特异性结合和吸收，传统策略的疗效受到极大限制。不仅如此，某些靶向生物分子可能在某些细胞表面表达不均，尤其是异质性肿瘤细胞。这些因素共同降低了传统生物标记的选择性及高效性。为了克服传统分子标记技术的局限，生物正交点击反应与代谢工程的有效结合，构建了高特异性及高灵敏性的分子标记策略。前体首先用生物正交化学官能团（如炔基和叠氮基）进行修饰，进而被引入到生命系统中。再通过体内生物正交点击反

应的特异性靶向实现多种应用。生物正交标记比传统的主动靶向策略更高效可靠,这也取决于细胞表面自然表达的受体数量。因为用于生物正交标记的外源合成受体可以在细胞表面大量表达,无论细胞表面显型如何,都可以通过共价键连接来实现显像剂的更多引入,进而达到更有效的成像应用。生物正交点击化学已被广泛应用于多种生物分子的体内标记和成像,如抗体、蛋白质、DNA、RNA和脂质。

3.2 物质维度

3.2.1 蛋白 尽管基因学和蛋白质组学技术在不断发展进步,但针对蛋白质组学的全面研究依然任重道远。具体而言,传统的生物学和分析方法无法解决蛋白质与小分子之间相互作用的诸多问题:包括药物、候选药物、代谢物或蛋白质翻译后修饰(PTMs)。幸运的是,化学家们通过生物正交反应填补了这一实验缺口。这些反应允许将具有高选择性、高反应性的化学基团引入小分子或蛋白质中,且不影响它们的生理机能,进而选择性地安装、分析、标记,进行下游研究。利用最通用的生物正交反应如点击化学,来克服生物学方法的局限性,使关键的蛋白质-小分子相互作用和PTMs在生物环境中选择性标记和功能体现成为可能。近年来,点击化学与基于质谱分析的蛋白质组学研究方法的结合在生物学领域得到广泛应用,特别是为新生蛋白、棕榈酰化修饰蛋白、糖基化修饰蛋白及磷酸化修饰蛋白的检测提供了方法,在蛋白质与蛋白质的相互作用、microRNA生物合成和microRNA前体与蛋白质相互作用方面也广泛应用。点击化学的使用对探索蛋白质生物学起到了巨大的推动作用。

3.2.2 聚糖 生物正交化学已被证明是了解聚糖结构、链接定位和生物功能的重要实验方法。聚糖是附着在细胞壁多肽、蛋白质和脂类上的寡糖,可以用于选择性地观察细胞类型。

糖代谢前体包括许多用于生物正交反应的化合物,如叠氮化物、末端炔烃和高张力炔烃。可借助生物正交搭档化合物来观察聚糖:Bertozzi研究小组发现保守的小非编码RNA带有唾液化聚糖,并且存在于多种细胞类型和哺乳动物的人工培养细胞内和体内^[53]。这一发现使用的策略是通过叠氮基团修饰的糖前体对细胞或动物进行点击反应来实现生物标记。使用叠氮标记的唾液酸前体,经过乙酰化的N-叠氮基乙酰甘露糖胺(Ac4ManNAz)会在生物体内被转化为叠氮乙酰基唾液酸(azide-tagged sialic acid, SiaNAz),然后再注射入带有标记肽的环辛炔分子;当这个标记分子游走到SiaNAz分子附近时,“click”它们就会结合在一起,这就是分子中的炔基和叠氮基发生了点击反应;而标记肽也就被添加到了SiaNAz分子上,从而SiaNAz分子在各个组织和器官中的分布情况也就清楚了。借助生物正交化学,在RNA生物学和糖生物学之间建立了直接的链接界面,同时还有许多新的发现处于探索中。

3.2.3 核酸 叠氮修饰的核苷三磷酸已被证实可以与DNA骨架相结合,为进一步的示踪标记提供了生物正交工具。烯基脱氧核苷和炔基核苷被用于标记大鼠DNA和RNA。Devaraj团队开创的一种方法包括将生物正交反应链接到反义寡核苷酸的末端,然后衍生的寡核苷酸以这种方式与目标核酸链杂交,使生物正交反应足够接近从而发生,产生荧光。该体系运用四嗪链接进行分子链接,其中一个组分含有一个荧光团,该荧光团被四嗪基团淬灭,环加成去除四嗪基团淬灭剂并激活荧光。

3.2.4 脂类 针对脂类进行生物正交标记一直具有挑战性。与蛋白质或核酸不同,生物脂是一组不同的生物化学物质,在生物系统中扮演多重角色。脂质类似物的渗透通常需要类似物输送,研究人员制备脂类的生物正交功能化类似物(包括脂肪酸、甾醇、磷脂和鞘脂),这些脂肪酸类似

物带有可发生点击反应的叠氮或炔基基团,可成为跟踪脂肪酸代谢或脂质组学的重要探针,也被用于研究转译后的蛋白质脂化。此类脂肪酸类似物的弊端在于它们可以进入多种脂类,进而导致标记特异性降低。

4. 机遇与挑战

生物正交化学打破了学科领域之间的界限,将化学学科、生命科学、医学药学、材料科学多学科交叉的步伐带入了功能主义时代,其中点击化学的高效精准性为生物正交反应提供了功不可没的反应基础。生物正交点击化学将各个生物医学领域的发展带到了可视化的新高度。生物正交带着她“大道至简,功能为王”的理念,还在不断前进发展,并将在人类探索未知的道路上披荆斩棘,再放异彩。

责任编辑:刘香钰 校对:刘香钰 李琦

参考文献

- [1] Press release: The Nobel Prize in Chemistry 2022[EB/OL](2022-10-05)[2022-10-20].<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2022/press-release/>.
- [2] Bertozzi Group[EB/OL].[2022-10-20]<https://bertozzigroup.stanford.edu/people>.
- [3] Københavns Universitet[EB/OL].(2022-09-13)[2022-10-20].<https://chem.ku.dk/news/newslist/two-chem-professors-receive-villum-experiment-grants/>.
- [4] 中国科学院部.卡尔 夏普利斯(Karl Barry Sharpless)[EB/OL]. (2019-11-21) [2022-10-14]. http://casad.cas.cn/sourcedb_ad_cas/zw2/ysxx/wjysmd/201911/t20191121_4724729.html.
- [5] Bird R E, Lemmel S A, Yu X, et al. Bioorthogonal chemistry and its applications[J]. *Bioconjugate Chem*, 2021, 32:2457-2479.
- [6] Demko Z P, Sharpless K B. A click chemistry approach to Tetrazoles by Huisgen 1,3-Dipolar Cycloaddition: Synthesis of 5-Sulfonyl Tetrazoles from azides and sulfonyl cyanides[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2002, 41: 2110-2113.
- [7] Agard J, Prescher J A, Bertozzi C R. A Strain-Promoted [3+2] Azide-Alkyne Cycloaddition for covalent modification of biomolecules in living systems[J]. *J Am Chem Soc*, 2004, 126: 15046-15047.
- [8] Blackman M L, Royzen M, Fox J M. Tetrazine Ligation: Fast bioconjugation based on inverse-electron-demand diels-alder reactivity[J]. *J Am Chem Soc*, 2008, 130:13518-13519.
- [9] Lin F L, Hoyt H M, Halbeek H, et al. Mechanistic investigation of the Staudinger Ligation[J]. *J Am Chem Soc*, 2005, 127: 2686-2695.
- [10] Saxon E, Bertozzi C R. Cell surface engineering by a modified Staudinger Reaction[J]. *Science*, 2000, 287:2007-2010.
- [11] Huisgen R. 1,3-Dipolar Cycloadditions[J]. *Proc Chem Soc*, 1961, 357-396.
- [12] Tornøe C W, Christensen C, Morten M. Peptidotriazoles on Solid Phase: [1,2,3]-Triazoles by Regiospecific Copper(I)-Catalyzed 1,3-Dipolar cycloadditions of Terminal Alkynes to Azides[J]. *J Org Chem*, 2002, 67: 3057-3064.
- [13] Morten M, Tornøe C W. Cu-Catalyzed Azide-Alkyne Cycloaddition[J]. *Chem Rev*, 2008, 108, 2952-3015.
- [14] Rostovtsev V V, Green L G, Fokin V V, et al. A stepwise huisgen cycloaddition process: Copper(I)-catalyzed regioselective "Ligation" of Azides and Terminal Alkynes[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2002, 41, 2596-2599.
- [15] Kolb H C, Finn M G, Sharpless K B. Click Chemistry: Diverse chemical function from a few good reactions[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2001, 40, 2004-2021.
- [16] Chan T R, Hilgraf R, Sharpless K B, et al. Polytriazoles as Copper(I)-Stabilizing Ligands in

catalysis[J]. *Org Lett*, 2004, 6, 2853-2855.

[17] Himo F, Demko Z P, Noodleman L, et al. Mechanisms of Tetrazole formation by addition of Azide to Nitriles [J]. *J Am Chem Soc*, 2002, 124, 12210-12216.

[18] Finn M G, Fokin V V. Click chemistry: function follows form[J]. *Chem Soc Rev*, 2010, 39, 1231-1232.

[19] Kharkar P M, Kiick K L, Kloxin A M, Designing degradable hydrogels for Orthogonal control of cell microenvironments[J]. *Chem Soc Rev*, 2013, 42, 7335-7372.

[20] Evans A M, Strauss M J, Dichtel W R. Two-dimensional polymers and polymerizations[J]. *Chem Rev*, 2022, 122, 442-564.

[21] Sharpless K B, Kolb H C, et al. In situ selection of lead compounds by Click chemistry: Target-guided optimization of Acetylcholinesterase inhibitors[J]. *J Am Chem Soc*, 2005, 127, 6686-6692.

[22] Lewis W G, Green L G, Grynszpan F, et al. Click chemistry In situ: Acetylcholinesterase as a reaction vessel for the selective assembly of a femtomolar inhibitor from an array of building blocks[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2002, 41, 1053-1057.

[23] Wang Q, Chan T R, Hilgraf R, et al. Bioconjugation by Copper(I)-Catalyzed Azide-Alkyne [3+2] cycloaddition[J]. *J Am Chem Soc*, 2003, 125, 3192-3193.

[24] Rodionov V O, Presolski S I, Gardinier S, et al. Benzimidazole and related ligands for Cu-Catalyzed Azide-Alkyne cycloaddition[J]. *J Am Chem. Soc*, 2007, 129, 12696-12704.

[25] Fattah T A, Saeed A, Albericio F. Recent advances towards Sulfur (VI) Fluoride Exchange (SuFEx) Click chemistry[J]. *Journal of Fluorine Chemistry*, 2018, 213, 87-112.

[26] Steinkopf W. Mitteilung aus dem Institut für organische Chemie der Technischen Hochschule

Dresden [J]. *J Prakt Chem*. 1927, 117:1. 1-82.

[27] Chen Q Y, Wu S W. Methyl. Fluorosulphonyldifluoroacetate; a New trifluoromethylating agent[J]. *J Chem Soc Chem Commun*, 1989, 705-706.

[28] Duan J X, Su D B, Wu J P, et al. Synthesis of trifluoromethyl Aryl derivatives via difluorocarbene precursors and Nitro-substituted Aryl chlorides[J]. *J Fluorine Chem*, 1994, 66, 167-169.

[29] Dong J, Krasnova L, Finn M G, Sharpless K B, Sulfur (VI) fluoride exchange (SuFEx): Another good reaction for Click chemistry[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2014, 53, 2-21.

[30] Dong J, Sharpless K B, Kwisnek L, et al. SuFEx-based synthesis of polysulfates[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2014, 53, 9466-9470.

[31] Revathi L, Ravindar L, Leng J, et al. Synthesis and chemical transformations of fluorosulfates[J]. *Asian J Org Chem*, 2018, 7, 662-682.

[32] Gago P M, Olsen C A, Arylfluorosulfate-based electrophiles for covalent protein labeling: A new addition to the arsenal[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2019, 58, 957-966.

[33] Kaur J, Saxena M, Rishi N. An overview of recent advances in biomedical applications of Click chemistry[J]. *Bioconjugate Chem*, 2021, 32, 1455-1471.

[34] Chinthakindi P K, Arvidsson P I, Sulfonyl Fluorides (SFs): More than click reagents? [J]. *Eur J Org Chem*, 2018, 3648-3666.

[35] Breinbauer R, Kohn M, Azide-Alkyne coupling: A powerful reaction for bioconjugate chemistry[J]. *Chem Bio Chem*, 2003, 4, 1147-1149.

[36] Kolb H C, Sharpless K B. The growing impact of Click chemistry on drug discovery[J]. *Drug Discovery Today*, 2003, 8, 1128-1137.

[37] Meng G, Guo T, Ma T, et al. Modular Click chemistry libraries for functional screens using a

diazotizing reagent[J]. *Nature*, 2019, 574, 86–89.

[38] Zeng D, Ma Y, Deng W P, et al. Divergent SuFEx linkage of Sulfonimidoyl fluorides and Alkynes[J]. *Nature Synthesis*, 2022, 1, 455–463.

[39] Zeng D, Ma Y, Deng W P, et al. The linkage of Sulfonimidoyl fluorides and unactivated Alkenes via Hydrosulfonimidoylation[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2022, 61, e202207100.

[40] Dommerholt J, Schmidt S, Temming R, et al. Readily accessible Bicyclononynes for Bioorthogonal labeling and Three-dimensional imaging of living cells[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2010, 49, 9422–9425.

[41] Blackman M L, Royzen M, Fox J M. Tetrazine Ligation: Fast bioconjugation based on Inverse-electron-demand Diels–Alder reactivity[J]. *J Am Chem Soc*, 2008, 130, 13518–13519.

[42] Devaraj N K, Weissleder R, Hilderbrand S. A. Tetrazine-based cycloadditions: Application to pretargeted live cell imaging[J]. *Bioconjugate Chem*, 2008, 19, 2297–2299.

[43] Kamber D N, Liang Y, Blizzard R J, et al. 1,2,4-Triazines Are Versatile Bioorthogonal reagents[J]. *J Am Chem Soc*, 2015, 137, 8388–8391.

[44] Eising S, Engwerda A H J, Riedijk X, et al. Highly stable and selective Tetrazines for the coordination-assisted Bioorthogonal ligation with Vinylboronic Acids[J]. *Bioconjugate Chem*, 2018, 29, 3054–3059.

[45] Clovis J S, Eckell A, Huisgen R, et al. 1.3-Dipolare Cycloadditionen, XXV. der Nachweis des freien Diphenylnitrilimins als Zwischenstufe bei Cycloadditionen[J]. *Chem Ber*, 1967, 100, 60–70.

[46] Yu Z, Ohulchanskyy T Y, An P, et al. Fluorogenic, Two-photon-triggered photoclick chemistry in live mammalian cells[J]. *J Am Chem Soc*, 2013, 135, 16766–16769.

[47] Zeng Y, Ramya T N C, Dirksen A, et al.

High-efficiency labeling of sialylated glycoproteins on living cells[J]. *Nat Methods*, 2009, 6, 207–209.

[48] Stöckmann H, Neves A A, Stairs S, et al. Exploring Isonitrile-based Click chemistry for ligation with biomolecules[J]. *Org Biomol Chem*, 2011, 9, 7303–7305.

[49] Vatansever E C, Kang J, Tuley A, et al. An optimal "Click" formulation strategy for antibody–drug conjugate synthesis[J]. *Bioorg Med Chem*, 2020, 28, 115808–115816.

[50] Wurz R P, Dellamaggiore K, Dou H, et al. A "Click Chemistry Platform" for the rapid synthesis of bispecific molecules for inducing protein degradation[J]. *J Med Chem*, 2018, 61, 453–461.

[51] Rideout D. Self-Assembling Cytotoxins[J]. *Science*, 1986, 233, 561–563.

[52] Clavadetscher J, Hoffmann S, Lilienkamp A, et al. Copper catalysis in living systems and in Situ drug synthesis[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2016, 55, 15662–15666.

[53] Chang P V, Prescher J A, Bertozzi C R, et al. Copper-free Click chemistry in living animals[J]. *PNAS*, 2010, 107, 1821–1826.

注：为了更好地宣传诺贝尔奖，本文分别从官方网址（参考文献2-4）使用了3位获奖人照片，暂未取得获奖人的联系方式，如肖像权人（即获奖人）认为不妥，可联系本刊编辑部，编辑部愿意支付相关费用。

（下转第53页）

基于文献计量的2022年诺贝尔自然科学奖三大领域研究态势分析

殷 茜, 李泽霞

(中国科学院文献情报中心, 北京 100190)

摘 要: 2022年诺贝尔科学奖的揭晓受到世界范围广泛关注。为了解2022年诺贝尔生理学或医学、物理学、化学奖三大研究领域的发展现状和趋势, 本文利用文献计量分析方法, 从年度发文量、主要国家、主要研究机构、高影响力论文和研究主题等方面对不同研究领域文献进行定量分析和可视化呈现。研究发现, 诺贝尔生理学或医学奖研究领域, 德国马克斯·普朗克进化人类学研究所、加州大学伯克利分校、美国哈佛大学的研究影响力高, 研究主题涉及已灭绝古人类基因组测序、现代人种群分布、已灭绝古人类基因渗入等; 诺贝尔物理学奖研究领域, 日内瓦大学、维也纳大学等欧洲机构的论文影响力远高于亚洲机构, 研究主题涉及贝尔不等式、量子隐形传态与量子密码、量子退相干与量子纠缠可分性等; 诺贝尔化学奖研究领域, 美国斯克利普斯研究所的研究受到学术界的广泛认可, 研究内容涉及铜催化的叠氮化物—端炔烃环加成反应、具有抗癌潜力的1,2,3-三氮唑衍生物、功能化金纳米粒子等。

关键词: 诺贝尔奖, 量子纠缠, 点击化学, 古人类基因组, 文献计量

1. 引言

诺贝尔科学奖以其公正性和权威性代表物理学、化学、生理学或医学前沿研究的最高水平, 具有广泛且深刻的影响力。2022年度的诺贝尔自然科学奖三大奖项揭晓, 受到了科学界的高度关注。瑞典皇家学院宣布将诺贝尔生理学或医学奖授予瑞典科学家斯万特·帕博(Svante Pääbo), 以表彰他在“关于已灭绝人类基因组和人类进化的发现”方面作出的贡献^[1]。将诺贝尔物理学奖授予法国科学家阿兰·阿斯佩(Alain Aspect)、美国科学家约翰·克劳泽(John F. Clauser)和奥地利科学家安东·蔡林格(Anton Zeilinger), 以表彰他们在“纠缠光子实验、贝尔不等式的违反和开创量子信息科学”方面作出的贡献^[2]。将

诺贝尔化学奖授予美国科学家卡罗琳·贝尔托西(Carolyn R. Bertozzi)、丹麦科学家摩顿·梅尔达尔(Morten Meldal)和美国科学家卡尔·巴里·夏普莱斯(K. Barry Sharpless), 以表彰他们在“点击化学和生物正交化学的发展”方面作出的贡献^[3]。

本文利用文献计量分析方法从年度发文量、主要国家、主要研究机构、高影响力论文和研究主题等方面分别对诺贝尔生理学或医学、物理学、化学奖研究领域文献进行分析, 以了解领域的发展现状和趋势。

2. 数据与方法

本文以Web of Science核心合集数据库为检

作者简介: 殷 茜, 女, 硕士, 中国科学院文献情报中心, 研究方向为科学计量学与应用。

李泽霞, 女, 博士, 研究员, 中国科学院文献情报中心, 研究方向为重大科技基础设施。

索平台,分析诺贝尔生理学或医学奖研究主题后对“已灭绝古人类”“尼安德特人”“丹尼索瓦人”“基因组学”“DNA测序”“基因组测序”等相关词汇进行逻辑组配,检索得到古人类基因组研究领域相关文献共2572篇。分析诺贝尔物理学奖研究主题后对“量子纠缠”“纠缠态量子”“贝尔非定域性”“贝尔不等式”等相关词汇进行逻辑组配,检索得到量子纠缠和贝尔非定域性研究领域相关文献共16281篇。分析诺贝尔化学奖研究主题后对“点击化学”“生物正交化学”“化学领域发生的生物正交反应”等相关词汇进行逻辑组配,检索得到点击化学和生物正交化学领域相关文献共22215篇。检索时间均为2022年10月10日,其中2022年数据因收录延迟等会有失真,仅供参考。

利用文本挖掘工具Derwent Data Analyzer和

Excel软件对国家和机构数据进行清洗,统计分析发文量、H指数、被引频次、机构共现次数等指标。此外,使用Gephi软件绘制合作网络图,VOSviewer软件绘制关键词聚类图,展现不同研究领域的科学知识图谱。

3. 诺贝尔生理学或医学奖研究分析:古人类基因组

3.1 年度发文量分析

古人类基因组领域年度发文量如图1所示。1995年之前,该领域发文量较少,每年的发文量在5篇以内,1995年以后发文量不断增长。2005年后发文量呈现快速增长态势,2021年发文量约为2006年的6.5倍。

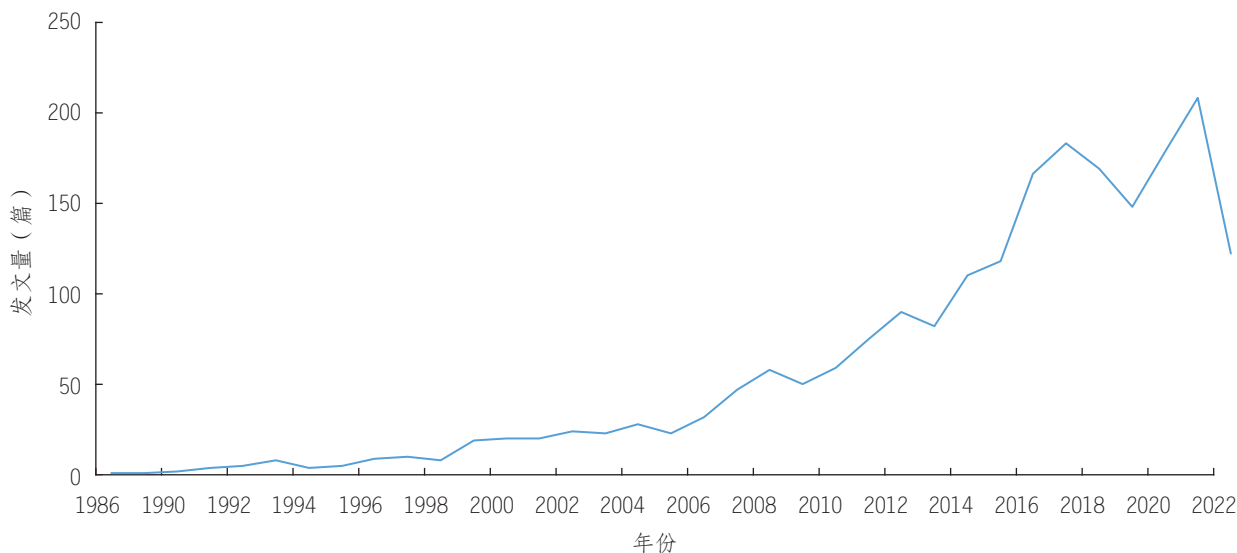


图1 古人类基因组领域年度发文趋势

3.2 国家分析

3.2.1 发文量分析 古人类基因组领域发文量排名前10的国家如图2所示。从总发文量来看,美国位居全球第一,发文量为905篇,属于第一梯队;德国和英国发文量均在400篇以上,属于第二梯队;法国、西班牙、意大利发文量均在200篇以上,属于第三梯队。排名前10国家的发文量占该领域总发文量的85.59%。从近三年发文量占比来看,中

国占比最高,超过40%,说明中国近三年来在该领域比较活跃。

3.2.2 年度发文量分析 美国、德国、英国、法国与中国的年度发文量如图2所示。美国对古人类基因组研究起步较早,发文量自2013年以后快速增长,直至2019年出现下降,但一直位居世界首位。德国和英国的发文趋势基本相同,2015年后发文量开始明显增多,增长速度缓慢。法国发文

表1 古人类基因组领域发文量排名前10的国家

序号	国家	总发文量(篇)	近三年发文量占比(%)
1	美国	905	21.33
2	德国	452	27.88
3	英国	442	28.96
4	法国	280	27.14
5	西班牙	245	21.22
6	意大利	229	33.19
7	澳大利亚	157	35.67
8	中国	154	40.26
9	俄罗斯	154	34.42
10	丹麦	153	30.07

量自2014年后明显上升,中国发文量自2009年以后波动增长。

3.2.3 学术影响力分析 H指数和篇均被引频次是被用来评价学术影响力的重要计量指标。H指数指至多有H篇文献被引用至少H次;篇均被引频次指单篇文献的平均被引次数。文献的H指数和篇均被引频次越大,文献的学术影响力越高。古人类基因组领域发文量排名前10国家的H指

数和篇均被引频次情况如图3所示。从H指数来看,美国H指数排名第一(130),其次是德国(110)、英国(94);从篇均被引频次来看,位于全球前三的国家分别是俄罗斯(106.79)、德国(96.65)、中国(84.25)。德国的两个指标均较高,在古人类基因组领域受到学术界的广泛认同。

3.3 机构分析

3.3.1 发文量分析 古人类基因组领域发文量排名前20的机构如表2所示。从总发文量来看,发文量排名前20的机构主要在美国和德国,其中,有6个美国机构,4个德国机构。发文量排名前三的机构分别是德国马克斯·普朗克进化人类学研究所(259篇)、丹麦哥本哈根大学(122篇)、俄罗斯科学院(113篇)。哈佛大学、剑桥大学、中国科学院、牛津大学发文量均在80篇以上。其余机构发文量不足80篇。从近三年发文量占比来看,德国马克斯·普朗克人类历史科学研究所占比超过55%,是该领域的新兴研究机构。

3.3.2 学术影响力分析 发文量排名前10机构的篇均被引次数和H指数情况如表3所示。从篇均被引频次来看,全球篇均被引次数为49.48,发文量排

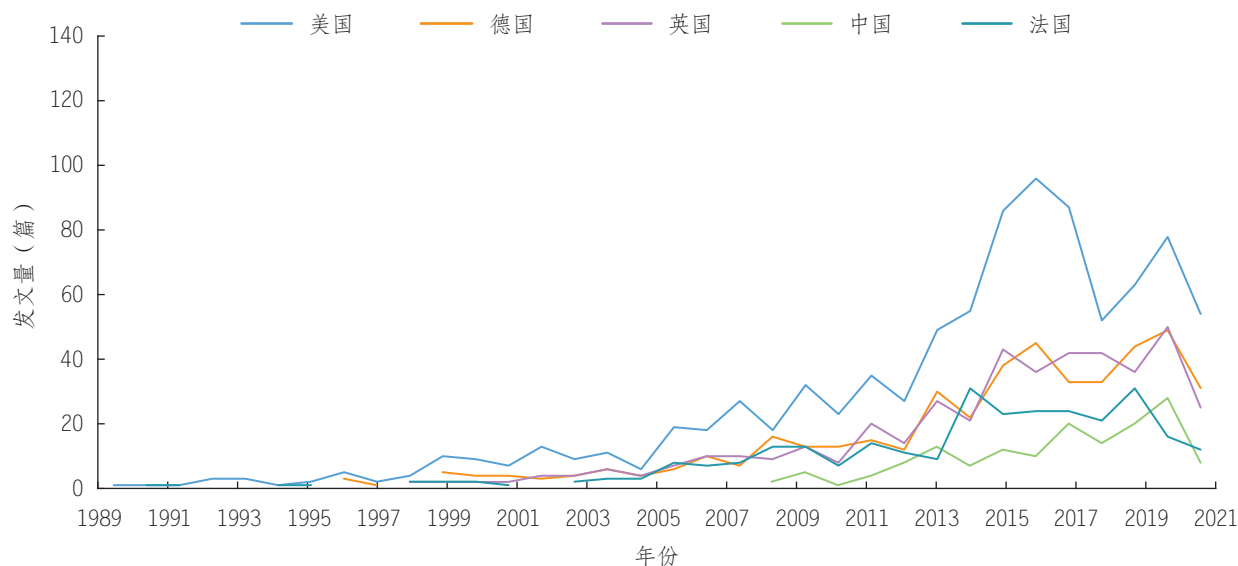


图2 古人类基因组领域美、德、英、法与中国的发文趋势

注:选取发文量前四名的国家以及中国进行分析。

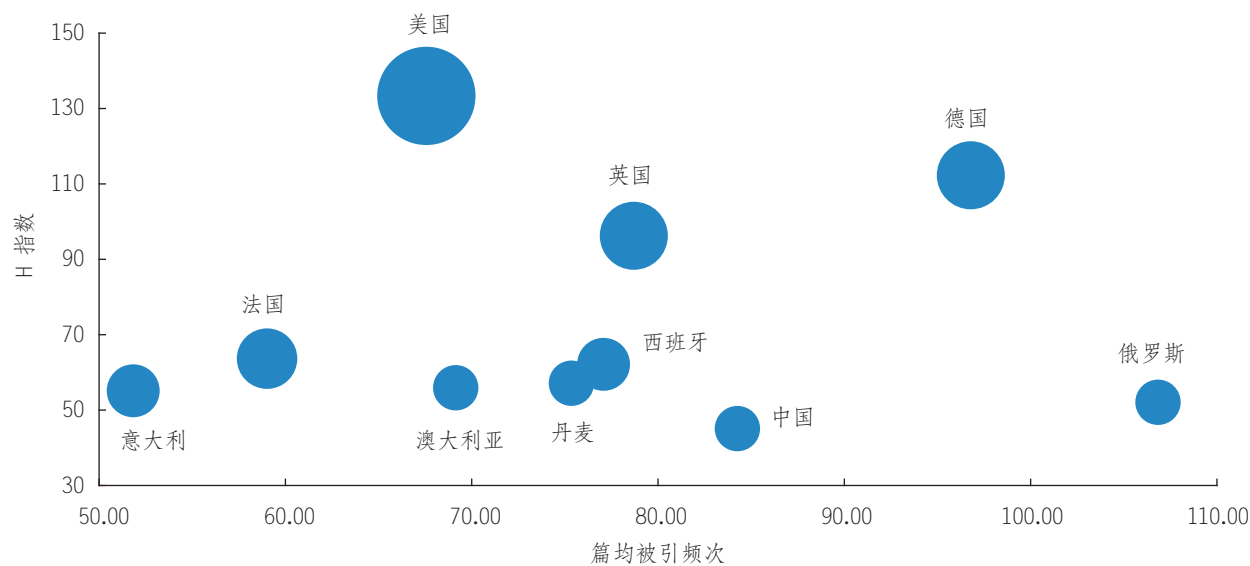


图3 古人类基因组领域主要国家学术影响力

注：圆圈的大小代表发文量的多少，图10、图17同。

表2 古人类基因组领域发文量排名前20的机构

序号	机构	国家/地区	总发文量（篇）	近三年发文量占比（%）
1	马克斯·普朗克进化人类学研究所	德国	259	26.64
2	哥本哈根大学	丹麦	122	31.15
3	俄罗斯科学院	俄罗斯	113	36.28
4	哈佛大学	美国	100	25.00
5	剑桥大学	英国	99	25.25
6	中国科学院	中国	84	36.90
7	牛津大学	英国	81	30.86
8	加州大学伯克利分校	美国	77	18.18
9	伦敦大学学院	英国	74	35.14
10	华盛顿大学	美国	68	23.53
11	马克斯·普朗克人类历史科学研究所	德国	66	56.06
12	图宾根大学	德国	63	20.63
13	宾夕法尼亚州立大学	美国	54	29.63
14	斯坦福大学	美国	52	19.23
15	塔尔图大学	爱沙尼亚	51	45.10
16	乌普萨拉大学	瑞典	49	32.65
17	西班牙国家研究委员会	西班牙	48	10.42
18	加州大学圣克鲁兹分校	美国	48	35.42
19	庞培法布拉大学	西班牙	48	29.17
20	维也纳大学	德国	44	40.91

名前10机构的篇均被引水平远远高于全球平均水平。加州大学伯克利分校的篇均被引频次最高，约为全球平均水平的4.26倍。中国科学院的篇均被引频次为122.81，排名第五。从H指数来看，马克斯·普朗克进化人类学研究所H指数为91，远远高于其余机构。综合来看，加州大学伯克利分校、马克斯·普朗克进化人类学研究所、哈佛大学在该领域具有较高的学术影响力。

表3 古人类基因组领域发文量排名前10机构学术影响力

序号	机构	总被引次数	篇均被引频次	H指数
1	马克斯·普朗克进化人类学研究所	30690	118.49	91
2	哥本哈根大学	9382	76.90	49
3	俄罗斯科学院	12092	107.01	40
4	哈佛大学	18133	181.33	52
5	剑桥大学	8830	89.19	43
6	中国科学院	10316	122.81	35
7	牛津大学	10675	131.79	44
8	加州大学伯克利分校	16221	210.66	46
9	伦敦大学学院	6082	82.19	31
10	华盛顿大学	12743	187.40	40

3.3.3 机构合作分析 发文量排名前10机构的合作网络如图4所示。圆圈代表机构，圆圈间连线的粗细代表合作文献篇数的多少。古人类基因组领域机构间的国际合作紧密。马克斯·普朗克进化人类学研究所与其余9个机构建立了较为紧密的国际合作，其中，与俄罗斯科学院合作发文33篇，与加州大学伯克利分校合作发文32篇，与中国科学院合作发文29篇。哥本哈根大学与剑桥大学、加州大学伯克利分校合作较为频繁。

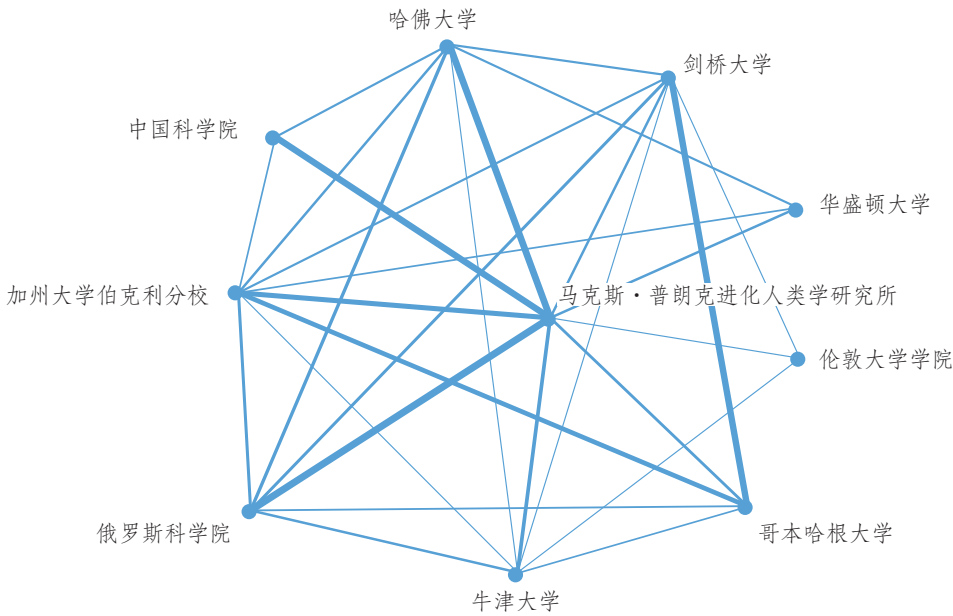


图4 古人类基因组领域主要机构合作网络

3.4 高影响力论文分析

选取近十年累计被引次数前1%的论文作为该领域的高影响力论文，共43篇。高影响力论文的国家分布情况如图5、图6所示。发文量排名前三的国家分别是美国（28篇）、德国（26篇）、英国（20篇）。其余国家发文量均少于15篇。发文量前10机构中有3个美国机构，2个德国机构。德国马克斯·普朗克进化人类学研究所发文18篇，位居全球第一。美国哈佛大学发文16篇，位居第二。中国科学院发文11篇，位居第三。中国科学院发文11篇，排名第三。

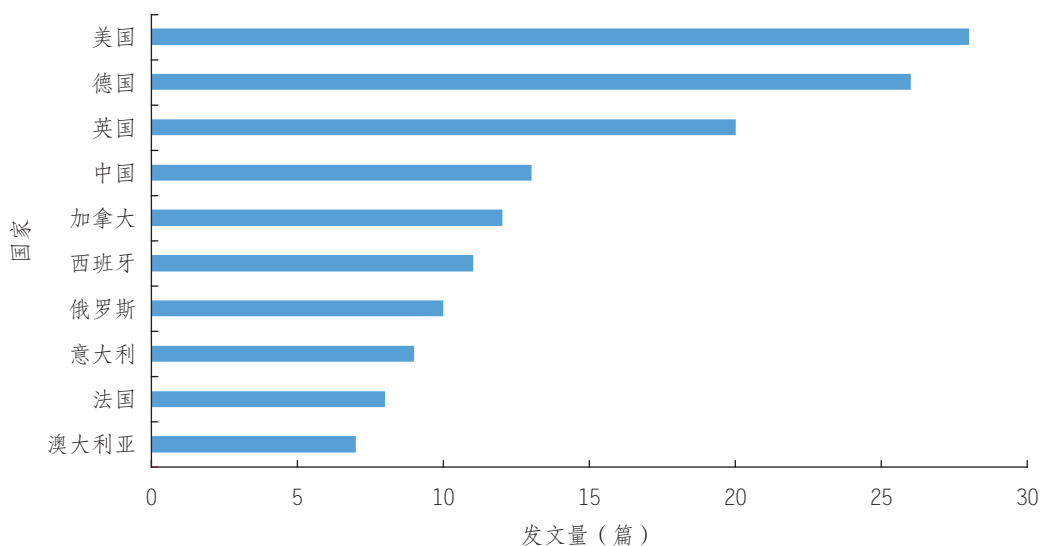


图5 高影响力论文的国家分布情况

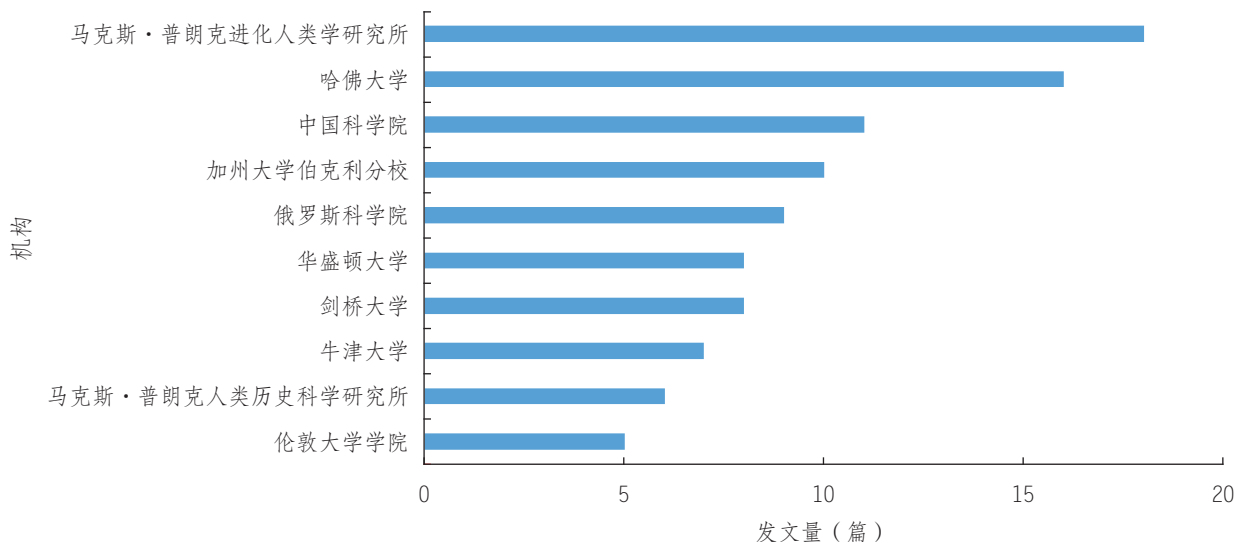


图6 高影响力论文的机构分布情况

3.5 研究主题分析

古人类基因组领域高频关键词聚类图谱如图7所示。该领域的高频关键词聚成三类，可以被归纳为三个研究主题：“已灭绝古人类基因组测序”（蓝色簇）、“现代人种群分布”（绿色簇）、“已灭绝古人类基因渗入”（红色簇）。已灭绝古人类基因组测序主题下的研究内容包括对尼安德特人的线粒体DNA测序、古DNA分析技术等。1997年，斯万特·帕博（Svante Pääbo）团队成功确定了尼安德特人的线粒体DNA序列，并发现尼安德特人没有为现代人贡献线粒体DNA^[4]。

现代人种群分布主题下的研究内容包括对分布在非洲、欧洲、东南亚等地区的现代人的基因组数据分析,揭示人群遗传历史^[5]。已灭绝古人类基因渗入主题下的研究内容包括现代人与尼安德特人、丹尼索瓦人间的基因流等,高频词包括“基因混合”“适应性渗入”“基因流”“迁

移”“杂交”“变体”“基因趋异”。2010年,斯万特·帕博(Svante Pääbo)团队发表尼安德特人基因组序列草案,发现从尼安德特人到非非洲人(non-africans)祖先的基因流发生在欧亚群体彼此分化前^[6]。

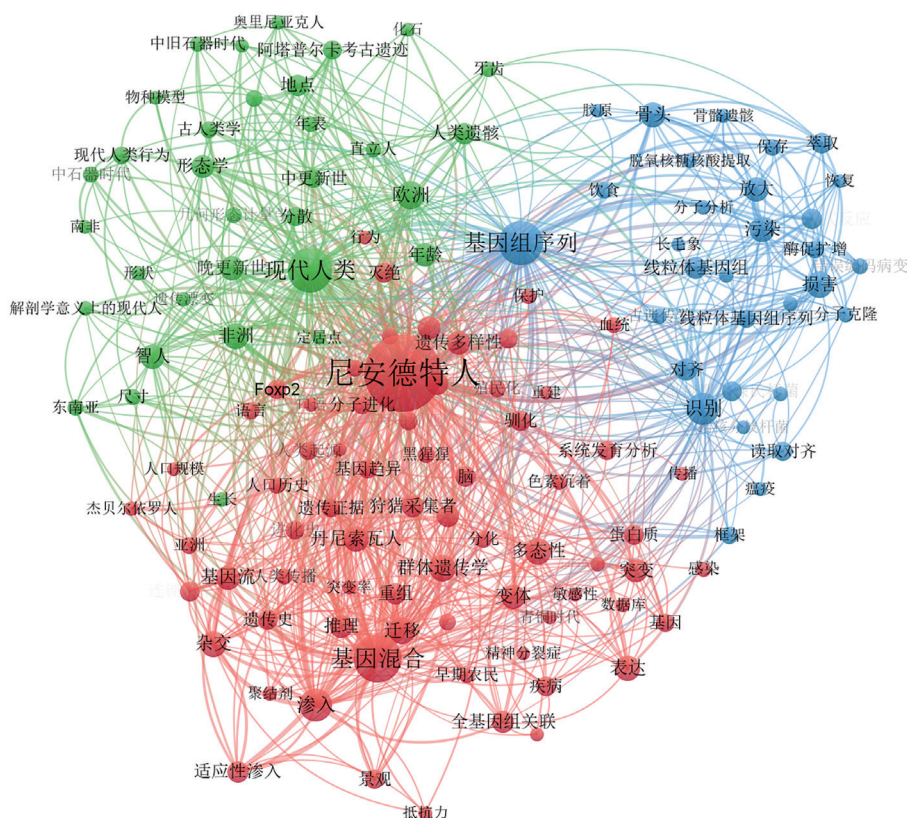


图7 古人类基因组领域关键词聚类图谱

4. 诺贝尔物理学奖研究分析：量子纠缠和贝尔非定域性

4.1 年度发文量分析

量子纠缠和贝尔非定域性领域年度发文量如图8所示。1990年之前,该领域发文量较少,每年发表的文献量在25篇以内。1990年以后,发文量逐渐上升,直到2009年出现转折。2010年发文量较2009年下降约200篇。2010年后发文量再次呈现上升趋势。2021年发文量为1034篇,约2010年的1.7倍。

4.2 国家分析

4.2.1 发文量分析 量子纠缠和贝尔非定域性领域发文量排名前10的国家如表4所示。从总发文量来看,中国位居首位,发文量为4631篇,美国位于第二位,发文量为2832篇,两国发文量占该领域总发文量的44.20%,属于第一梯队;英国和德国发文量均在1000篇以上,属于第二梯队;意大利、加拿大、西班牙、印度发文量均在700篇以上,属于第三梯队。排名前10国家的发文量占该领域总发文量的73.49%。从近十年发文量占比来看,印度占比最高,超过70%,说明印度近十年来在该领域比较活跃。

4.2.2 年度发文量分析 发文量排名前5国家的

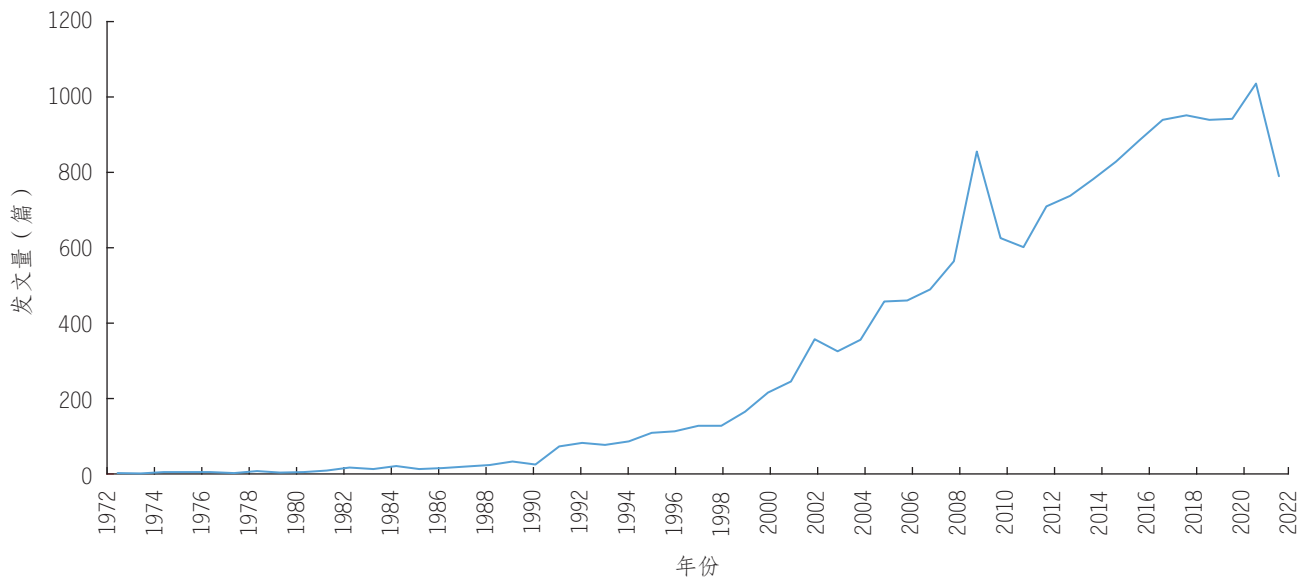


图8 量子纠缠和贝尔非定域性领域年度发文趋势

表4 量子纠缠和贝尔非定域性领域
发文量排名前10的国家

序号	国家	总发文量（篇）	近十年发文量 占比（%）
1	中国	4631	62.84
2	美国	2832	52.15
3	英国	1320	52.58
4	德国	1222	52.86
5	意大利	828	44.44
6	加拿大	766	64.88
7	西班牙	759	60.61
8	印度	734	70.57
9	日本	687	54.15
10	波兰	680	57.65

年度发文量如图9所示。美国对量子纠缠和贝尔非定域性研究较早，2011年发文量出现大幅下降，2012年后发文量波动上升。中国于1997年开始研究，自2005年文献数量首次超越美国后，发文量一直保持快速增长，且位居全球第一。英国、德国的年发文趋势基本相同，2008年后发文量开始明显增多，增长速度缓慢。意大利发文量增幅最低。

4.2.3 主要国家学术影响力分析 发文量前10国家的H指数和篇均被引频次情况如图10所示。从H指数来看，美国H指数排在首位（167），其次是英国（124）、德国（105）、中国（97）。从篇均被引频次来看，排名第一的国家是英国（56.61），美国（48.51）紧随其后，然后是波兰（42.23）、德国（41.45）等。美国的两个指标均较高，在量子纠缠和贝尔非定域性领域具有较高的学术影响力。

4.3 机构分析

4.3.1 发文量分析 量子纠缠和贝尔非定域性领域发文量排名前20的机构如表5所示。从总发文量来看，发文量最多的20个机构中有7个中国机构。其中，中国科学技术大学发表536篇文献，排名全球第一；中国科学院发表402篇文献，排名第二。奥地利、英国、加拿大和美国机构都有2个。新加坡国立大学发文量为390篇，其余机构发文量少于300篇。从近三年发文量占比来看，中国山西大学、美国麻省理工学院和加拿大圆周理论物理研究所占比均超过25%，是近三年来在该领域比较活跃的机构。

4.3.2 学术影响力分析 发文量排名前10机构的篇均被引频次和H指数如表6所示。从被引频次来

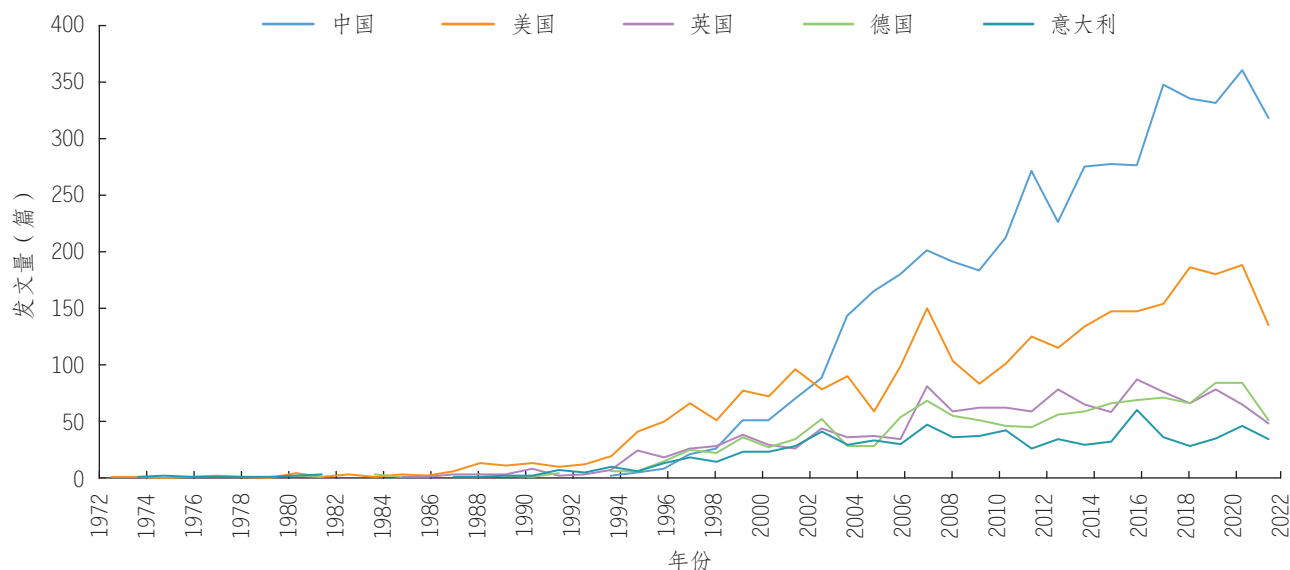


图9 量子纠缠和贝尔非定域性领域发文量排名前5的发文趋势

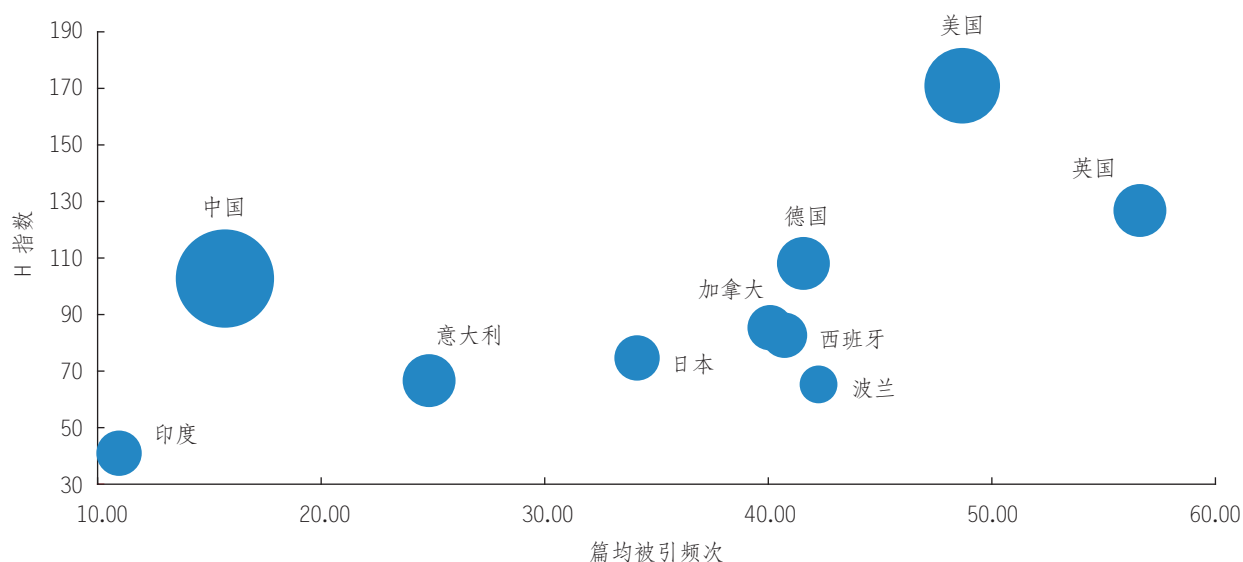


图10 量子纠缠和贝尔非定域性领域发文量前10国家学术影响力

表5 量子纠缠和贝尔非定域性领域发文量排名前20的机构

序号	机构	国家/地区	总发文量 (篇)	近三年发文量占比 (%)
1	中国科学技术大学	中国	536	23.32
2	中国科学院	中国	402	21.89
3	新加坡国立大学	新加坡	390	11.28
4	日内瓦大学	瑞士	278	14.39
5	格但斯克大学	波兰	258	13.95
6	牛津大学	英国	252	13.89
7	维也纳大学	奥地利	246	9.76

表5 量子纠缠和贝尔非定域性领域发文量排名前20的机构

(续表)

序号	机构	国家/地区	总发文量(篇)	近三年发文量占比(%)
8	奥地利科学院	奥地利	205	20.49
9	布里斯托大学	英国	193	9.84
10	滑铁卢大学	加拿大	192	15.10
11	清华大学	中国	186	21.51
12	安徽大学	中国	180	17.22
13	国家核物理研究院	意大利	180	16.11
14	圆周理论物理研究所	加拿大	171	25.73
15	麻省理工学院	美国	169	26.63
16	北京邮电大学	中国	168	11.90
17	昆士兰大学	澳大利亚	163	3.68
18	加州理工学院	美国	162	14.81
19	湖南师范大学	中国	156	24.36
20	山西大学	中国	152	29.61

看,全球篇均被引次数为29.2,奥地利科学院、日内瓦大学、牛津大学等欧洲发达国家的机构的篇均被引水平远远高于全球平均水平。其中,奥地利科学院的篇均被引频次最高,约为全球平均水平的3.3倍。相比之下,中国的2所机构,中

国科学技术大学和中国科学院的篇均被引水平较低。从H指数来看,日内瓦大学、维也纳大学和奥地利科学院排名前三。日内瓦大学、维也纳大学和奥地利科学院的两个指标均较高,在该领域具有较高的学术影响力。

表6 量子纠缠和贝尔非定域性领域发文量排名前10机构学术影响力

序号	机构	总被引次数	篇均被引频次	H指数
1	中国科学技术大学	14314	26.71	55
2	中国科学院	9574	23.82	48
3	新加坡国立大学	12876	33.02	52
4	日内瓦大学	25605	92.10	70
5	格但斯克大学	19082	73.96	49
6	牛津大学	19139	75.95	58
7	维也纳大学	21301	86.59	65
8	奥地利科学院	19515	95.20	63
9	布里斯托大学	14082	72.96	58
10	滑铁卢大学	7870	40.99	44

4.3.3 合作分析 发文量排名前10机构的合作网络如图11所示。奥地利科学院与维也纳大学等欧洲机构合作文献篇数最多（104篇），占奥地利科学院总发文量的50.73%；瑞士日内瓦大学与

英国布里斯托大学合作发文36篇。亚洲机构中，如中国科学技术大学，除与中国科学院合作紧密（49篇）外，与新加坡大学也建立较为密切的合作（35篇）。

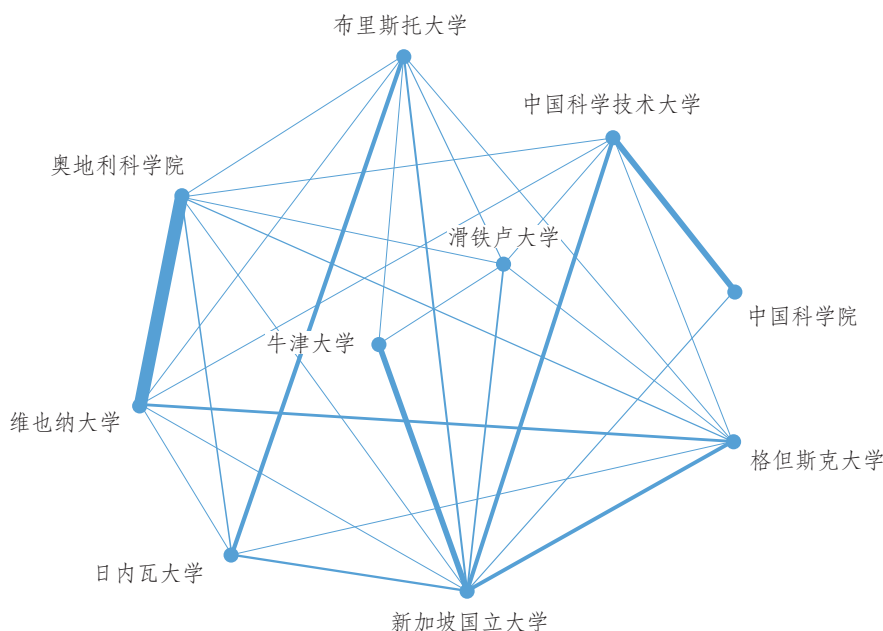


图11 量子纠缠和贝尔非定域性领域机构合作网络

4.4 高影响力论文分析

选取近十年累计被引次数前1%的论文作为该领域的高影响力论文，共112篇。高影响力论文的国家分布情况如图12、图13所示。美国的高被引论文数量最多，占全球总量的47.32%。53篇论文中8篇来自加州大学圣塔芭芭拉分校，7篇

来自美国国家标准与技术研究院。英国的高被引论文量排名第二，26篇论文中6篇来自布里斯托大学。中国排名第三，24篇高被引论文的主要机构为中国科学技术大学和中国科学院。其余国家发文量不足20篇。

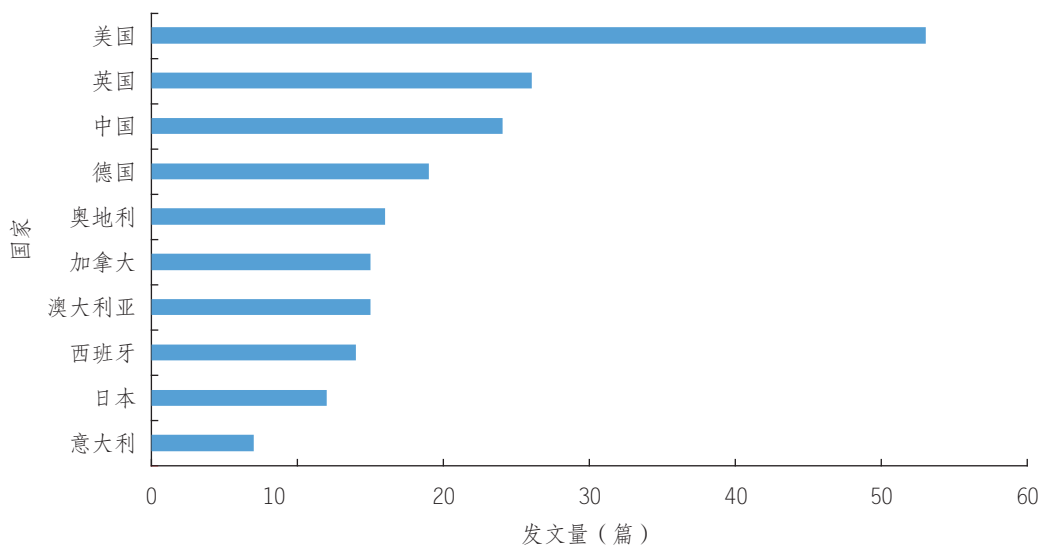


图12 高影响力论文国家分布情况

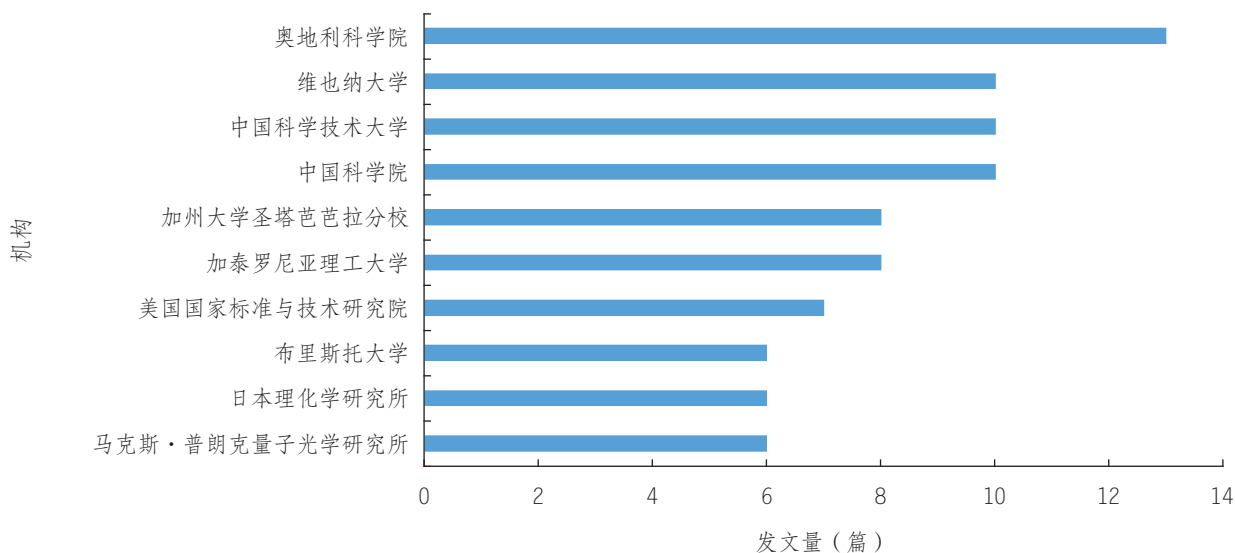


图13 高影响力论文机构分布情况

4.5 研究主题分析

量子纠缠和贝尔非定域性领域高频关键词聚类图谱如图14所示。由聚类结果可知，量子纠缠和贝尔非定域性研究领域的关键词聚成三类，可以被归纳为三个研究主题：“贝尔不等式”（蓝色簇）、“量子隐形传态与量子密码”（绿色簇）、“量子退相干与量子纠缠可分性”（红色簇）。贝尔不等式研究是关于量子纠缠描述和验证方面的研究，研究内容包括验证贝尔不等式不成立等，涉及隐变量、EPR佯谬、贝尔-CHSH不等式、定域性、实在性、因果关系等概念或理论。量子隐形传态与量子密码研究是关于量子纠缠技术应用方面的研究，研究内容包括量子网络编码的安全性和传输效率，非对称双向受控量子隐形传态协议方案、GHZ状态测量、半量子隐私比较协议、量子密钥分配等。量子退相干与量子纠缠可分性研究是关于量子纠缠影响方面的研究。量子退相干破坏量子态的相干性，从而导致量子纠缠发生变化^[7]。研究内容包括量子相干非局域优势和纠缠等。该主题下的高频关键词包括“熵”“动力学”“退相干”“可分离性”等。

5. 诺贝尔化学奖研究分析：点击化学和生物正交化学

5.1 年度发文章量分析

点击化学和生物正交化学领域年度发文章量如图15所示。2004年之前，该领域发文章量较少，每年发表的文献量不足20篇。2004年以后，发文章量呈现快速上升趋势，直到2016年出现转折。2016年发文章量约为2005年的18.66倍。2016年以后发文章量缓慢下降。2021年发文章量为1330篇，较2016年下降23.34%。

5.2 国家分析

5.2.1 发文章量分析 点击化学和生物正交化学领域发文章量排名前10的国家如表7所示。从总发文章量来看，中国位居全球第一，发文章量为4907篇，美国位于第二位，发文章量为4525篇，两国发文章量占该领域总发文章量的43.84%，属于第一梯队；德国、法国、印度发文章量均在1500篇以上，属于第二梯队；英国、日本、西班牙发文章量均在800篇以上，属于第三梯队。排名前10国家的发文章量占该领域总发文章量的80.5%。从近三年发文章量占比来看，印度占比最高，是近三年来在该领域较活跃的国家。



文量自2004年以后一直保持快速增长，2013年中国发文量超过美国，2018年以后发文量呈现下降趋势，但一直位居全球第一。印度发文量自2011年后开始明显增多，直到2017年出现转折，2017年后发文量开始缓慢下降。

表7 点击化学和生物正交化学领域发文量排名前10的国家

序号	国家	总发文量（篇）	近三年发文量占比（%）
1	中国	4907	22.34
2	美国	4525	18.48
3	德国	2110	18.01
4	法国	1589	15.92
5	印度	1583	25.77
6	英国	991	19.37
7	日本	855	18.95
8	西班牙	813	21.77
9	澳大利亚	676	13.02
10	韩国	592	20.10

5.2.3 学术影响力分析 发文量前10国家的H指数和篇均被引频次情况如图17所示。从H指数来看，美国H指数排名第一（199），远远高于其他国家。其次是中国（122）、德国（110）、英国（98）、法国（94）。从篇均被引频次来看，排名前五的国家分别是美国（56.19）、澳大利亚（47.30）、英国（44.10）、德国（36.38）、法国（32.43）。美国的两个指标均较高，在点击化学

和生物正交化学领域处于领先地位。

5.3 机构分析

5.3.1 发文量分析 点击化学和生物正交化学领域发文量排名前20的机构如表8所示。从总发文量来看，发文量最多的20个机构中有10个中国机构，2个法国机构，2个美国机构。其中，中国科学院发表839篇文献，位居全球第一；法国国家科学研究中心发表321篇文献，位于第二位；美国斯克利普斯研究所发表221篇文献，排名第三。北京大学和浙江大学发文量均在200篇以上。其余机构发文量不足200篇。发文量排名20的中国机构，除中国科学院、北京大学、浙江大学外，还有武汉大学、南开大学、苏州大学等。从近三年发文量占比来看，中国四川大学和俄罗斯科学院占比较高，是近三年来在该领域比较活跃的机构。

5.3.2 学术影响力分析 发文量排名前10机构的篇均被引频次和H指数如表9所示。从被引频次来看，全球篇均被引次数为35.6，美国斯克利普斯研究所的篇均被引水平远远高于全球平均水平，且排名第一。德国卡尔斯鲁厄理工学院H指数排名第二，约为全球平均水平的1.7倍。中国机构除北京大学外，篇均被引水平都略低于全球平均水平。从H指数来看，排名前三的机构分别是斯克利

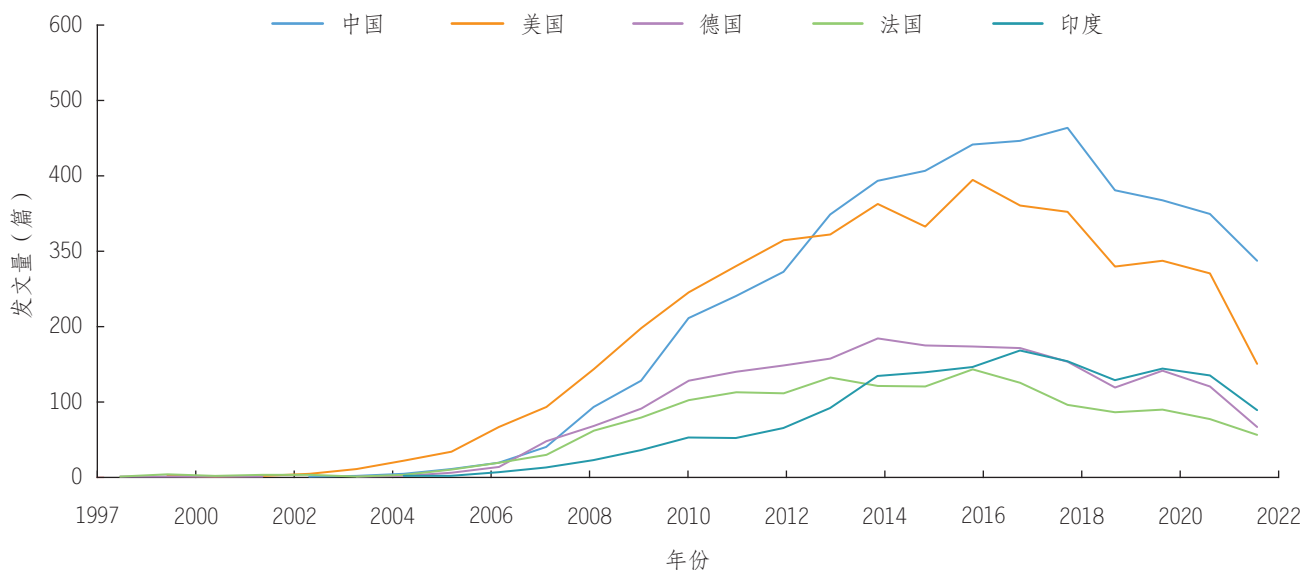


图16 点击化学和生物正交化学领域发文量排名前5国家的发文趋势

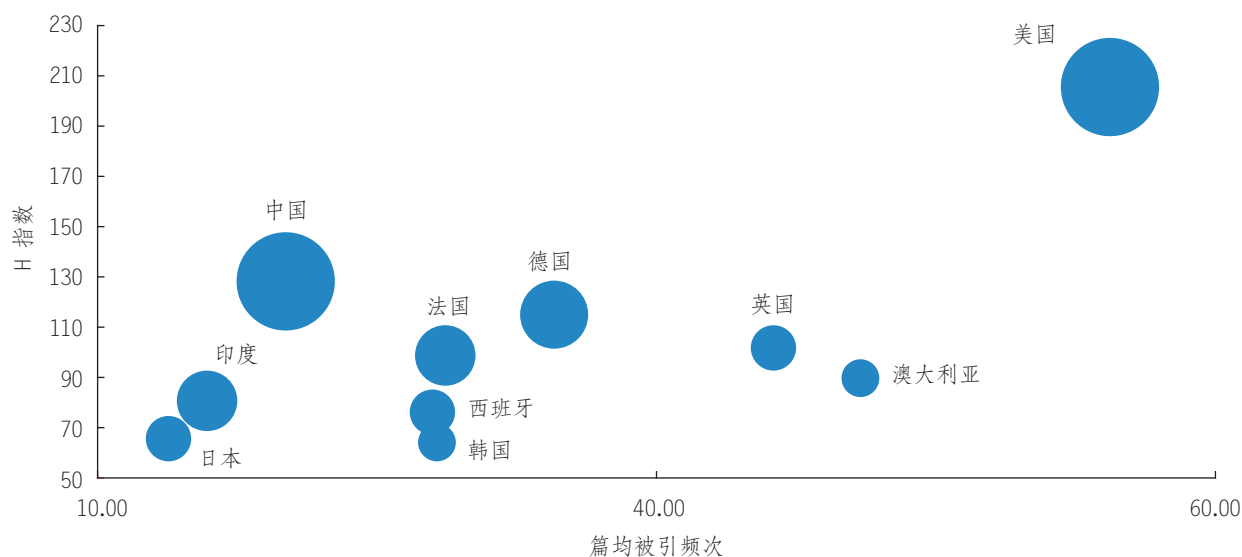


图17 点击化学和生物正交化学领域主要国家学术影响力

表8 点击化学和生物正交化学领域发文量排名前20的机构

序号	机构	国家/地区	总发文量（篇）	近三年发文量占比（%）
1	中国科学院	中国	839	17.52
2	法国国家科学研究中心	法国	321	4.05
3	斯克利普斯研究所	美国	221	13.57
4	北京大学	中国	210	17.62
5	浙江大学	中国	203	14.29
6	武汉大学	中国	182	9.89
7	卡尔斯鲁厄理工学院	德国	181	12.15
8	斯特拉斯堡大学	法国	180	15.00
9	俄罗斯科学院	俄罗斯	169	28.40
10	南开大学	中国	167	14.37
11	伊斯坦布尔理工大学	土耳其	166	17.47
12	苏州大学	中国	161	19.88
13	新南威尔士大学	澳大利亚	159	6.92
14	中国科学技术大学	中国	159	13.21
15	新加坡国立大学	新加坡	152	9.87
16	根特大学	荷兰	145	15.17
17	复旦大学	中国	143	13.29
18	四川大学	中国	138	30.43
19	清华大学	中国	135	20.00
20	加州大学伯克利分校	美国	125	8.80



普斯研究所、中国科学院和法国国家科学研究中心。斯克利普斯研究所的两个指标均较高，直观展现了其在点击化学和生物正交化学领域的领军地位。

表9 点击化学和生物正交化学领域主要机构学术影响力

序号	机构	总被引次数	篇均被引频次	H指数
1	中国科学院	27542	32.83	78
2	法国国家科学研究中心	11014	34.31	52
3	斯克利普斯研究所	45773	207.12	86
4	北京大学	7517	35.80	48
5	浙江大学	5833	28.73	39
6	武汉大学	6322	34.74	43
7	卡尔斯鲁厄理工学院	6656	36.77	46
8	斯特拉斯堡大学	10912	60.62	48
9	俄罗斯科学院	1710	10.12	21
10	南开大学	5443	32.59	41

5.3.3 合作分析 利用Gephi软件绘制发文量排名前10机构的合作网络，如图18所示。点击化学和生物正交化学领域各国国内机构合作紧密。中国机构，如中国科学院与武汉大学、北京大学、南开大学合作较为紧密，合作文献篇数分别为63篇、24篇、24篇。法国机构，如法国国家科学研究中心与斯特拉斯堡大学合作较为紧密。美国斯克利普斯研究所与其余9个机构合作文献篇数较少，均不足5篇。

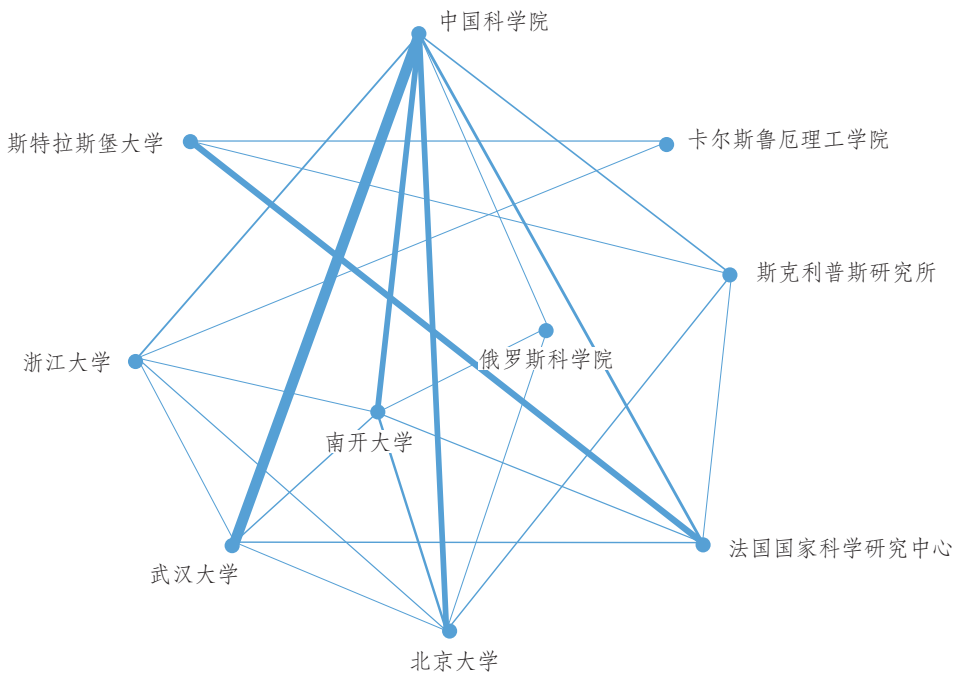


图18 点击化学和生物正交化学领域主要机构合作网络

5.4 高影响力论文分析

选取近十年累计被引次数前1%的论文作为该领域的高影响力论文,共154篇。高影响力论文的国家分布情况如图19、图20所示。美国的高被引论文数量最多,占全球总量的39.61%,其

次是中国、德国、印度。其余国家发文量不足10篇。高影响力论文分布机构中有5个中国机构,3个美国机构。其中,中国科学院高被引论文最多,其次是斯克利普斯研究所、科罗拉多大学、中山大学、苏州大学等。

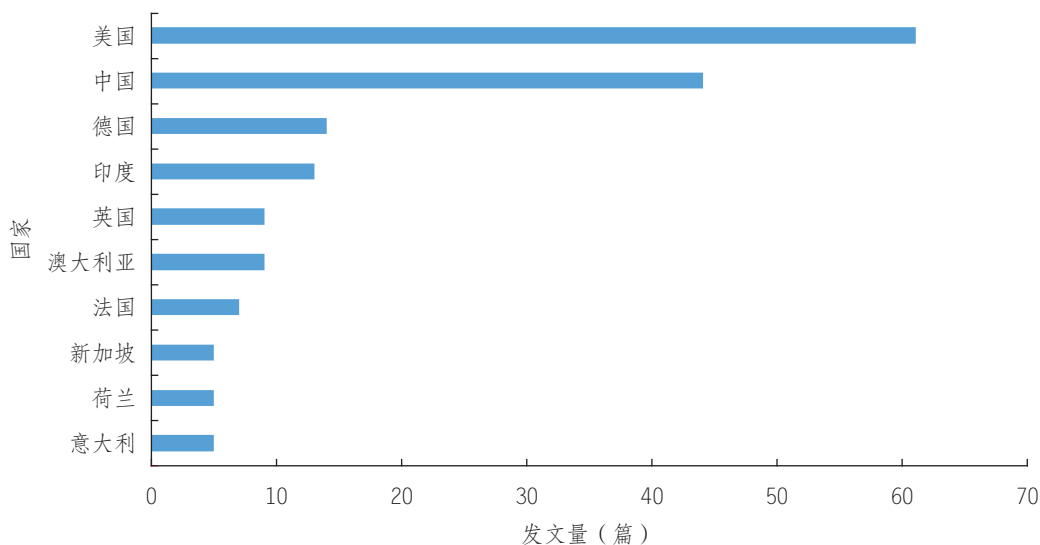


图19 高影响力论文国家分布情况

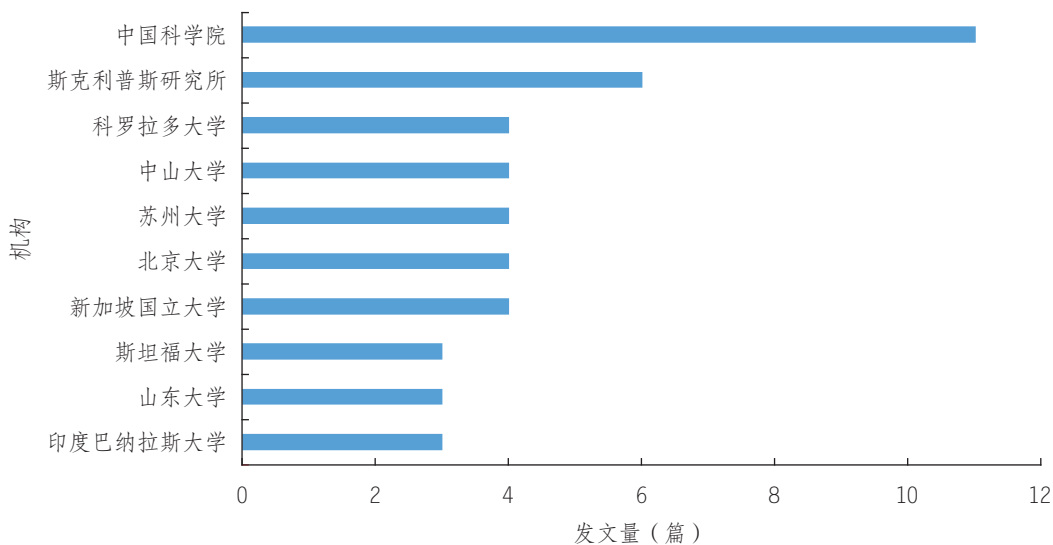


图20 高影响力论文机构分布情况

5.5 研究主题分析

点击化学和生物正交化学领域高频关键词聚类图谱如图21所示。该领域的高频关键词聚成三类,可以被归纳为三个研究主题:“点击化学反应”(蓝色簇)、“生物正交反应”(绿色

簇)、“功能化”(红色簇)。点击化学反应主题下的研究内容包括铜催化的叠氮化物-端炔烃环加成反应(CuAAC)设计,抑制剂研发,具有抗癌潜力的1,2,3-三氮唑衍生物等。CuAAC反应是应用最广泛的点击化学反应之一。2002年,卡尔·巴里·夏普莱斯(K. Barry Sharpless)团队和

摩顿·梅尔达尔 (Morten Meldal) 团队分别开发出了CuAAC反应^[8-9]。生物正交反应主题下的研究内容包括施陶丁格连接反应、逆电子需求的Diels-Alder反应、用于识别新合成的蛋白质的生物正交非规范氨基酸标记技术、聚糖成像等。功能化

主题下的研究内容包括功能化聚合物和共聚物制备、纳米粒子功能化、水凝胶制备等，高频关键词包括“嵌段共聚物”“转移自由基聚合”“纳米金”“表面修饰”“药物递送”等。

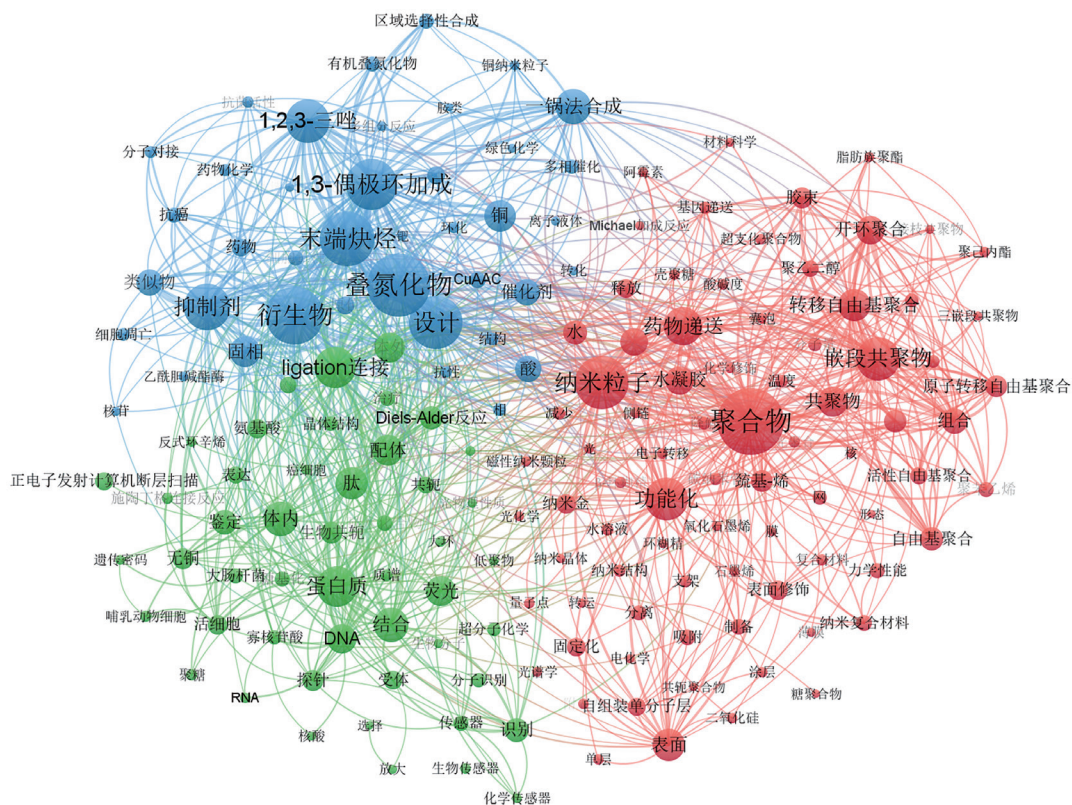


图21 点击化学和生物正交化学领域关键词聚类图谱

6. 结语

诺贝尔生理学或医学奖研究领域：古人类基因组。从主要国家发文情况来看，法国对古人类基因组领域研究较早，美国总发文量位于世界首位，中国近三年来在该领域比较活跃。从主要机构发文和合作情况来看，美国和德国机构发文量最多，加州大学伯克利分校、马克斯·普朗克进化人类学研究所和哈佛大学的研究受到广泛的学术认可。机构间的国际合作紧密，马克斯·普朗克进化人类学研究所与俄罗斯科学院合作文献篇数最多。

诺贝尔物理学奖研究领域：量子纠缠和贝尔非定域性。从主要国家发文情况来看，美国、德

国等发达国家对量子纠缠和贝尔非定域性领域研究较早。从主要机构发文和合作情况来看，奥地利科学院发文量在全球机构中排名第一，其研究受到学术界广泛认同。日内瓦大学、维也纳大学等欧洲机构的论文影响力远高于亚洲机构。中国机构已经与亚洲机构建立了较为紧密的合作关系，可以考虑适当加强与欧洲机构的合作。此外，中国发文总量最多，但是论文质量不高。未来应鼓励和引导科研人员开展具有创新性的研究工作，只有具备高质量的科研成果，数量才有意义。并且，在科研绩效评价中，以数量构成的定量评价指标不能代替科研评价本身，而要积极探索以质量为导向的评价体系，推动科学研究高质

量发展。

诺贝尔化学奖研究领域：点击化学和生物正交化学。从主要国家发文情况来看，法国对点击化学和生物正交化学领域研究较早，中国发文总量位居世界第一，2013年中国发文量超越美国。从主要机构发文和合作情况来看，全球机构中，中国科学院发文量最多，美国斯克利普斯研究所的研究具有高影响力。各国国内机构合作紧密，中国科学院与武汉大学合作文献篇数最多。此外，诺贝尔奖通常授予对人类有重大贡献的重大研究成果，分析2001-2018年间世界自然科学领域诺奖得主的获奖时滞平均为14年。以1965年诺贝尔化学奖为例，1942年伍德沃德提出关于紫外光谱与分子结构的伍德沃德准则，1945年合成了氯奎宁，时滞为23年。点击化学研究的发文量近年来整体呈现下降趋势，这在一定程度上表明其研究进入平稳发展期，进入更广泛的应用和转化的阶段。

三大领域的诺奖得主所在机构或国家的学术影响力排名存在差异。诺贝尔生理学或医学奖得主斯万特·帕博（Svante Pääbo）所在机构马克斯·普朗克进化人类学研究所的学术影响力在古人类基因组领域的排名为全球第一；诺贝尔化学奖得主之一摩顿·梅尔达尔（Morten Meldal）所在机构哥本哈根大学的学术影响力在其研究领域的排名在20以外，所属国家丹麦的排名位置情况也类似。说明杰出科学家的个人科学能力，不能完全反映其所在机构或国家的科技水平。有研究指出，美国获得众多诺贝尔奖的一个重要原因在于它拥有足够多的、训练有素的、水平较高的杰出科学家作后盾^[10]。因此，培养一批拔尖创新人才是支撑国家原始创新和科技实力跃升的关键举措。

参考文献

[1] Nobel Prize Org. The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2022[EB/OL].(2022-10-03)[2022-10-21]. <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/>.

[2] Nobel Prize Org. The Nobel Prize in Physics 2022[EB/OL].(2022-10-4)[2022-10-21]. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/>.

[3] Nobel Prize Org. Press Release: The Nobel Prize in Chemistry 2022[EB/OL].(2022-10-5)[2022-10-21].<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2022/press-release/>.

[4] Matthias Krings, Anne Stone, Ralf W Schmitz, et al. Neandertal DNA Sequences and the Origin of Modern Humans[J].Cell,1997,90(01).

[5] Liu Yichen, Mao Xiaowei, Krause Johannes, et al. Insights into human history from the first decade of ancient human genomics[J].Science (New York, N.Y.),2021,373(6562).

[6] Green Richard E, Krause Johannes, Pääbo Svante, et al. A Draft Sequence of the Neandertal Genome[J].Science,2010,328(5979).

[7] 马小三. 量子退相干和量子纠缠动力学的若干研究[D].合肥: 中国科学技术大学, 2007.

[8] Rostovtsev V V, Green LG, Fokin V V, et al. A stepwise huisgen cycloaddition process: copper(I)-catalyzed regioselective "ligation" of azides and terminal alkynes[J].Angew Chem Int Ed Engl,2002,41(14): 2596-2599.

[9] Tornøe C W, Christensen C, Meldal M. Peptidotriazoles on solid phase: [1,2,3]-triazoles by regiospecific copper(i)-catalyzed 1,3-dipolar cycloadditions of terminal alkynes to azides[J].J Org Chem,2002,67(09): 3057-3064.

[10] 段志光, 卢祖洵, 王爱珍, 等. 诺贝尔生理学或医学奖获得者论文影响力研究[J].科学学研究, 2006(05):672-676.

Research on the situation analysis of 2022 Nobel Prize in Natural Science based on bibliometrics

Yin Xi, Li Zexia

(National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: The announcement of the 2022 Nobel Prize in Natural Science has attracted worldwide attention. In order to understand the development status and trends of the 2022 Nobel Prize in Physiology or Medicine, Physics and Chemistry, bibliometric methods are used to perform quantitative analysis and visual presentations of the literature in different research fields from the aspects of the annual number of publication, major countries, major research institutions, and papers with high impact, and the research topics. The study finds that in the field of Nobel Prize in Physiology or Medicine, Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology, University of California, Berkeley, and Harvard University have high research impact, and research topics in this field involve genome sequence on extinct ancient humans, population distribution of modern humans, and genetic introgression of extinct ancient humans. In the field of Nobel Prize in Physics, the influence of papers from European institutions such as University of Geneva and University of Vienna is much higher than that of Asian institutions, and research topics in this field involve Bell's inequality, quantum teleportation and quantum cryptography, quantum decoherence and quantum entanglement separability. In the field of Nobel Prize in Chemistry, Scripps Research's outputs have been widely recognized by the academic community, and research contents in this field involve copper-catalyzed azide-alkyne cycloaddition, 1,2,3-triazole derivatives with anticancer potential, functionalized gold nanoparticles, and so on.

Key words: Nobel Prize; quantum entanglement; click chemistry; ancient human genome; bibliometrics

(上接第33页)

Research review on bioorthogonal chemistry and click chemistry

Meng Jiaolong, Jiang Xuefeng*

(Shanghai Key Laboratory of Green Chemistry and Chemical Processes, School of Chemistry and Molecular Engineering, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: The 2022 Nobel Prize in Chemistry was awarded to the pioneers of the bioorthogonal chemistry and click chemistry. The development of bioorthogonal chemistry has achieved revolutionary breakthroughs to study the chemical reactions in vivo. The most dazzling reaction in bioorthogonal chemistry is click reaction, which is guided by function in molecular level, and links various functional molecules efficiently and stably through modular and simple construction. Bioorthogonal chemistry has gone through a series of development processes, whose reaction practical circumstances has changed from bottle to complex biological organism, which has shown broad application prospects in diversified fields such as chemical biology, drug discovery, clinical diagnosis. Bioorthogonal chemistry and click chemistry keep "the greatest truths are the simplest", which means realizing the functions of molecules with the most simple and efficient methods, leading chemistry into the era of functionalism.

Key words: Nobel Prize in Chemistry; bioorthogonal chemistry; click chemistry; era of functionalism

日本科学奖励制度中的青年科学家奖研究

诸葛蔚东, 刘 明

(中国科学院大学人文学院, 北京 100049)

摘 要: 本文通过对日本不同主体所设青年科学家奖基本情况的梳理, 展现了日本青年科学家奖的基本发展脉络, 同时分析了日本青年科学家奖在申请流程、奖励对象和奖励效果等方面呈现出的特点。通过研究发现日本青年科学家奖自成体系, 在奖励方式和奖励理念方面创新颇多, 且在奖励体系内部各主体之间形成了良性的互补关系, 日本的民间组织尤其是科学学会在青年科学家奖的运作中起到了中坚作用, 充分发挥了科学共同体的优势。

关键词: 日本, 科学奖励, 青年科学家, 青年奖

1. 引言

科学奖励是整个科学评价系统的重要环节, 通过不同等级、不同形式的科学奖励, 设置奖项的各个主体最终筛选出了他们心中的“优异成就”, 科学奖励的形态一定程度上反映了颁奖主体对整个科学研究的态度和倾向。科学奖励系统中同样存在等级, 大众最关注的往往是奖励系统金字塔的塔尖上的奖项, 如诺贝尔奖、菲尔兹奖等等, 这些奖项评选人数少、获奖难度大、社会关注度高, 几乎所有的获奖者在获奖之前就已经是该行业甚至所在国家科研领域的代表人物, 正如默顿所言: “在如何给予荣誉这件事上, 这个世界是很奇怪的, 它总是给予已经成名的人以荣誉^[1]”。

关于日本的科学奖励, 国内学界近年来的研究主要集中在科普奖励和奖励体系探究两方面。马晨一等明确了在日本科普奖励活动中政府、学会和民间企业三个主体之间互为补充、互相衔接

的作用机制^[2], 李颖^[3]和张微^[4]等简要勾勒出日本整体科研奖励的体系特征。

而对于青年科学人才奖励的研究, 国内成果较少, 已有的几篇相关文献主要关注我国国内相关青年资助项目的实施效果^[5], 国外对该选题的研究较多, 如Jeffrey Mervis基于美国的科研资助实践提出应当让少数族裔和青年科研人员参与到科研资助项目的评选中来才能遏制科研资助体系中的变相歧视^[6]。Johan Bollen等则明确指出美国的科研奖励体系存在的对年轻研究人员和女科学家的偏见, 并鲜明地提出专注于资助人而不是项目以及让尽可能多的科学家参与资助决策等重要原则^[7]。

目前国内外研究中并无专门对日本青年科学家奖的发展历史、运作体系和当前特点进行综合研究的文章。相比于历史悠久的科学奖励体系, 青年科学家奖依然是一项新事物, 这类奖项设置了年龄的要求, 奖励青年科学家群体中杰出者, 适当降低了对科研成就的要求, 进而覆盖到更多

作者简介: 诸葛蔚东, 男, 教授, 中国科学院大学人文学院, 研究方向为科学传播、科学与社会。

刘 明, 男, 中国科学院大学人文学院硕士, 研究方向为科学传播、科学与社会。

项目来源: 中国科协创新战略研究院科研项目“亚太地区重点国家科技人才奖励制度与评价研究”

(项目编号: 2021070504CG072207)。

的人群。对青年科学家奖的研究,不仅有助于发掘一个国家科学奖励体系的倾向和运作方式,而且有助于深入认识科学奖励的本质。日本作为世界上较早设置青年科学家奖的国家,体系比其他国家更为完备,同时,政府和民间的配合使得该奖项整体具备了极强的日本特色。

2. 日本青年科学家奖的基本发展状况

2.1 “青年科学家奖”的定义

以1910年日本学士院设立“恩赐奖^[8]”为始,日本科学奖励体系已经过100多年的发展,如今基本形成了以政府、财团和民间科学学会三大主体协调运作的庞大系统。在进入21世纪之前,日本的主要科学奖项奖励细则中基本都不会对获奖者的年龄做出规定,而是只看其发表的论文的质量和学术声誉。

所谓青年科学家奖(以下简称“青年奖”),泛指在评选过程中专门规定入选者年龄限制的奖项,这些奖项的名称不一而足,如“青年鼓励奖”“育志奖”“进步奖”等等。科学界对“青年”的定义不同于其他领域,大多数科研从业者都是在30岁左右获得博士学位之后才能正式进入科研单位内工作,成为一名“青年科学家”,因而青年奖的年龄范围也比一般社会意义上的“青年”更广。本文为了方便研究进行,将所有科学奖项中明确规定了获奖者年龄范围或者明确提到以“青年”为奖励对象的奖项定义为“青年奖”。同时,在筛选奖项信息时,大量奖励本科生、硕士生等“青年”的奖项未被计算在内,这些奖项虽然也不同程度体现了颁奖方的理念和立场,但是学生群体毕竟不属于严格意义上的正式科研从业者,相关的奖项也并不侧重科研成果,而是更加重视演讲能力、学业成绩等其他指标。

2.2 统计样本的选取

日本的科学奖项主要由政府和民间的各主体设置运行,民间按照主体的性质不同又可分为学会和财团两部分。在青年奖的设置方面,科学学会设置的青年科学家奖项数量最多,其次是民间财团和日本政府。

本文根据日本的学会名录^[9]筛选出自然科学相关的学会,根据日本科学振兴机构数据库中统计的公益财团法人机构,选取其中有关科学技术的财团^[10]。文部科学省是日本负责统筹国内教育、科学技术和学术的中央政府机关,下设多个教育、科学和文化相关的管理机构,其中属于综合性科学学术组织的主要是日本学术振兴会¹(The Japan Society for the Promotion of Science, JSPS)和日本学士院(The Japan Academy)^[11],因此,在政府奖项方面本文主要选取文部科学省及其下辖的两个机构设置的奖项进行统计。通过从这些相关的主体中检索设置青年奖的组织,共筛选出了22项青年奖的基本信息,并据此整合成表1。

青年奖作为庞大的日本青年科学家资助体系中的一部分,在整个日本科研奖励体系中占比不大,影响力也不及科研费(KAKENHI)和日本其他传统科研奖项,但是其特点却十分鲜明,尤其是各个主体之间的区别非常大,这些差异体现在奖项设置时间、奖励方式、奖励人数等各个方面。横向比较来看,政府所设青年奖奖项数量不多,但是文部科学省“青年科学家奖”覆盖人数最多,覆盖学科也较为广泛,同时,政府所设青年奖以荣誉性奖励为主。科学学会所设青年奖,主要面向本学会会员,不同体量的学会奖励人数不同,同时与学会所设的其他奖项一样,其所设青年奖基本都不设置奖金,不过由于学会青年奖一般都会要求获奖者在获奖后进行汇报演讲,所以会设置专门的基金来承担获奖者的差旅费用。

¹ 作为独立行政法人,日本学术振兴会的性质其实介于政府组织和民间学会组织之间,但是由于其名义上仍归属文部科学省管辖,并且比一般科学学会更加具有综合性,故本文仍将其归类为政府组织。

表1 日本当前主要青年科学家奖项

序号	奖项名称	主管机构	首届颁奖时间	限制年龄
1	青年科学家奖	文部科学省	2005年	40岁以下
2	学术鼓励奖	日本学士院	2004年	未明确年龄 ¹
3	日本学术振兴会育志奖 ^[12]	日本学术振兴会	2011年	34岁以下
4	日本学术振兴会奖	日本学术振兴会	2005年	45岁以下
5	井上研究鼓励奖	井上科学振兴财团 ^[13]	1984年	37岁以下
6	井上学术奖	井上科学振兴财团	1984年	50岁以下
7	Nishina亚洲奖 ^[14]	仁科纪念财团	2013年	获得博士学位15年内
8	柯尼卡美能达图像科学鼓励奖 ^[15]	柯尼卡美能达科技振兴财团	1994年	40岁以下
9	青年鼓励奖 ^[16]	物理学会	2007年	不同方向变通执行
10	光学论文奖	光学会 ^[17]	1960年	40岁以下
11	光学鼓励奖	光学会	1992年	30岁以下
12	青年学术鼓励奖 ^[18]	地震学会	2003年	35岁以下
13	亚洲国际奖	化学工学会 ^[19]	2011年	45岁以下
14	研究鼓励奖	化学工学会	1991年	35岁以下
15	技术鼓励奖	化学工学会	2007年	38岁以下
16	学术鼓励奖 ^[20]	磁学会	2003年	35岁以下
17	生物工程青年奖	生物工程学会 ^[21]	2022年	40以下，或博士后出站8年内
18	生物工程亚洲青年奖	生物工程学会	2004年	45岁以下
19	生物工程亚洲青年研究鼓励奖	生物工程学会	2012年	35岁以内
20	研究鼓励奖	天文学会 ^[22]	1988年	35岁以下
21	进步奖	化学学会 ^[23]	1951年	37岁以下
22	技术进步奖	化学学会	1995年	40岁以下

日本民间企业科学奖励活动非常活跃，日本比较有国际影响力的科学奖项基本都是由民间财团发起，并且以奖金数额大、奖项规格高闻名，如日本稻盛财团所设的“京都奖”设置了每人一亿日元的巨额奖金^[24]（约合人民币500万元左右²），但专门设置青年奖的企业数量较少，虽然企业所设青年奖基本都设置了奖金，不过奖金数额远低于财团设

置的其他传统奖项的奖金。如本文所统计的井上科学振兴财团，其下设“井上研究鼓励奖”每人奖金为50万日元，而该财团所设最高学术奖奖金则为200万日元^[13]。

2.3 青年奖在日本的发展历程和历史背景

在日本传统的科研奖项中，青年科学家的获

¹ 仅在评奖通知中明确“表彰年轻研究人员”，未设置具体年龄限制，根据2020年、2021年公布的获奖者信息显示，日本学士院学术鼓励奖的获奖者年龄主要分布在30~45岁之间。

² 采取2022年8月实时汇率（0.0499）换算，准确数额应当为499万元人民币。

表2 不同主体所设青年奖比较

颁奖主体	包含青年奖数量 (项)	代表性奖项	每年奖励 人数上限	奖金数额	申请方式
政府机构	4	文部科学省 “青年科学家奖”	人数稳定100人左右， 2021年表彰97人	荣誉性奖励， 无奖金	以机构推荐为主，开放 少量个人申请名额
		日本学士院 “学术鼓励奖”	不超过6人	仅有奖牌、 奖状，无奖金	从每年的日本学术振兴 会奖获得者中选取
学会	14	物理学会	11个领域共计不超过 50人		
		化学学会 “进步奖”	不超过10人	荣誉性奖励， 无奖金	各分会推荐或总会根据 会员学术成果选定
		光学会 “学术鼓励奖”	不超过2人		
企业 (财团法人)	4	井上财团 “研究鼓励奖”	不超过40人	50万日元/人	个人申请

奖比例相当之低。在2021年日本学士院公布的学士院奖获得者名单中，八位获奖者中的年龄最小者出生于1961年，在获奖时已满60岁，平均年龄则达到了78岁^[25]。文部科学省2021年度公布的“科学技术奖”各分类部门的共163位获奖者的年龄主要集中在50~60岁，平均年龄为53岁，其中50岁以下的获奖者比例仅为36%，而40岁以下获奖者共15人，仅占总获奖人数的9%，在这部分群体中，半数以上皆为与较年长者共同获奖的情况^[26]。这种状况直接导致大量的青年科学从业者无法在其事业发展的早期阶段获得必要的奖励，进而影响学者个人和整个科学研究的发展。

青年奖在日本的兴起是日本民间学会的首倡。20世纪50年代不仅是日本战后迅速恢复的年代，日本一些科学学会敏锐地意识到了对年轻学者进行奖励的重要性。日本化学会在1951年就设立了青年鼓励奖，是目前可以追溯到的较早的青年科学家奖项。2004年，日本文部科学省的青年科学家奖首次颁奖，此后，学术振兴会、日本学士院等政府下辖机构相继增设该奖，各主要的自然科学学会迅速跟上，部分财团也开始增设限定年龄的奖项，青年奖进入了

繁荣发展的时期。

从宏观上看，日本青年奖之所以在近些年来迅速发展，与日本国内人口老龄化之下日本科研政策转变的大背景有很大的相关性。

日本文部科学省2022年发布的《科技白皮书》中将日本近20年来科学研究能力下降的原因归结为年轻研究人员任期内职位比例增加、就业不稳定、博士后就业率停滞不前以及基础研究承担者和国际学术交流减少等原因^[27]。事实上，上述问题在新世纪之初就已经引起了日本政府的重视。在进入21世纪之后，日本科研领域出现了两个显著的变化。

第一，日本年轻科研人员比重下降严重，科研从业者年龄结构老龄化趋势愈加显著。如图1所示，1971—2019年期间，日本年龄在40岁以下的研究人员数量占整个科研人员数的比例由1971年的48.1%下滑至2019年的22.1%，年轻研究人员一方面需要完成科研任务，同时还不得不承担起大量与科研无直接关系的事务性工作，从而严重影响到了日本的科研创新和科技成果产出。

第二是科研“后备军”绝对数量的下降，日本博士生入学人数从2000年的17023人，下降到

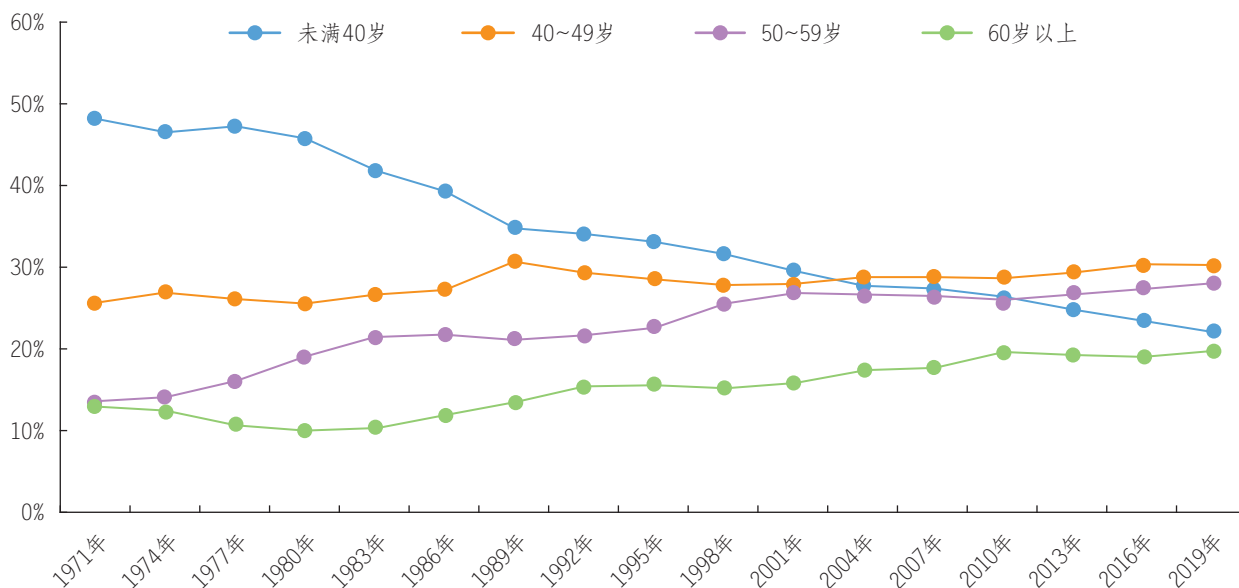


图1 日本大学研究人员各年龄段占比情况变化图

图源：日本文部科学省2022年《科技白皮书》^[26]。

2021年的14629人，下降了14%；其中，理学下降率达39%，工学下降率为21%，农学下降率为45%，均超过平均下降率，只有保健学入学博士生数量在人口老龄化的背景下实现了逆势增长。日本从事科研人员的数量在经历了80、90年代的

大涨之后进入了长期的停滞期，科研领域青黄不接的情况日益显著。

对青年科研力量进行各种方式的激励，从20世纪90年代开始，逐渐成为日本政府和学界的共识。科研人员年龄结构老龄化是整个日本社会老

表3 日本各学科博士生入学人数^[28]（人）

年份	大学类型	理学	工学	农学	保健 ¹	其他（包含人文社科等）	所有学科合计
2000年	国立	1461	2732	1070	3710	2958	11931
	公立	126	172	36	364	243	941
	私立	177	498	86	1265	2125	4151
	该年度合计	1764	3402	1192	5339	5326	17023
2010年	国立	1043	2529	785	3740	2924	11021
	公立	94	135	25	492	304	1050
	私立	148	475	92	1618	2107	4400
	该年度合计	1285	3139	902	5850	5295	16471
2021年	国立	899	2129	567	3500	2642	9737
	公立	67	138	21	620	225	1071
	私立	109	430	73	1900	1249	3821
	该年度合计	1075	2697	661	6020	3826	14629

¹ 日本保健学（medical science）在此实际上是包含了医学、护理等多个学科在内的统称。

龄化大趋势的集中体现，日本政府早在世纪之初就已经意识到了科研人员中的年龄比例问题，并且设立了各项青年基金，在科研经费申请和科研项目立项方面也更加倾向于青年科学家群体。

1998年的《科技白皮书》中，首次提到了人口结构老龄化问题对整个社会的影响，也是首次将“提高年轻研究人员待遇”作为表皮书中的单独议题进行分析^[29]。

2004年的《科技白皮书》中，首次提到“确保年轻研究人员的独立性，以便优秀的年轻研究人员能够最大限度地发挥其研究能力^[30]”，也正是在同年，文部科学省的“青年科学家”进行了首次的颁奖。

2006年的《科技白皮书》系统分析了人口年龄结构变化对科学技术发展的影响，并且提出“尽管必须确保有活力和创造力的年轻一代进入科学和技术领域，以维持和加强日本科学技术的力量，但令人关切的是，随着出生率的下降，年轻一代对科学和技术的兴趣继续下降，在质量和数量上都缺乏与科学和技术有关的人力资源。^[31]”也正是从这一年开始，日本政府每年发布的《科技白皮书》中都会对老龄化与科技的问题进行分析。

3. 如何奖励：日本青年奖的运作方式探究

3.1 评选流程：推荐制为主，细节处体现人文关怀

日本政府和财团所设立的青年奖在评选流程方面与传统奖项大体相同。以日本文部科学省青年科学家奖为例，每年的5月中旬开始，文部科学省会向日本国内各正式机构开放下一年度获奖者的推荐，由机构统计推荐人的各项基本情况并向文部科学省科学奖励办公室提交材料。当年的7月下旬推荐截止，之后就是较长的审核时期，直到次年的4月份公布评审结果，并于当月举行颁奖仪式^[32]。

青年奖的申请推荐表中，除了姓名、所在领域和研究主题等个人基本信息外，主要包括论文、著作、专利以及研究相关的新闻报道情况的证明材料。日本文部科学省所设“青年科学家奖”在申请过程中，需要推荐机构及个人填写共计8份材料，显著多于其所设其他奖项^[33]。为了保证详细了解候选人学术研究情况的基础上尽可能的简化流程，减少奖项评选占用青年科学家的研究时间，日本政府也做出了一些有益的尝试，如日本学术振兴会规定，由机构推荐产生的候选人如当年未入选，仍可保留一年推荐资格，自愿参评下一年的青年奖评选，而不必再走推荐流程^[34]（前提是第二年参评时，年龄仍符合要求）。

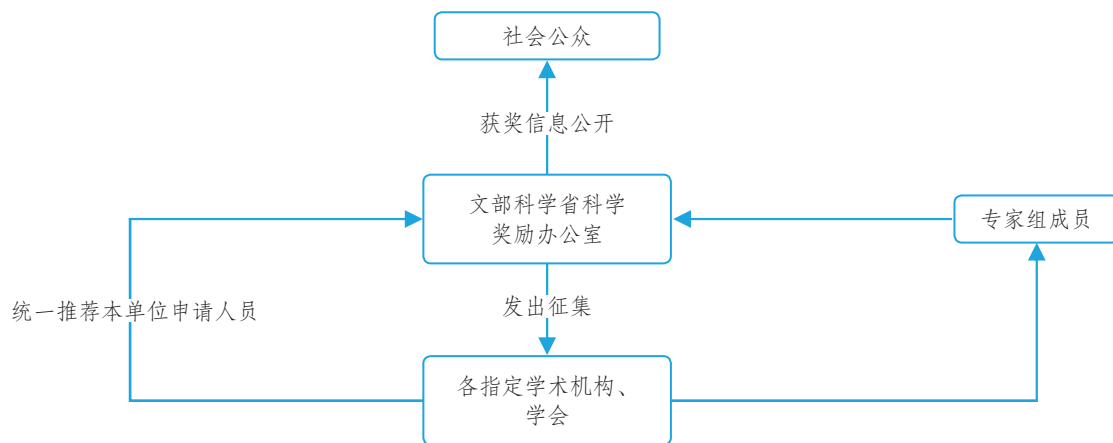


图2 政府青年奖的一般推荐流程

图源：根据日本文部科学省、日本学士院、日本学术振兴会各奖项流程整理。

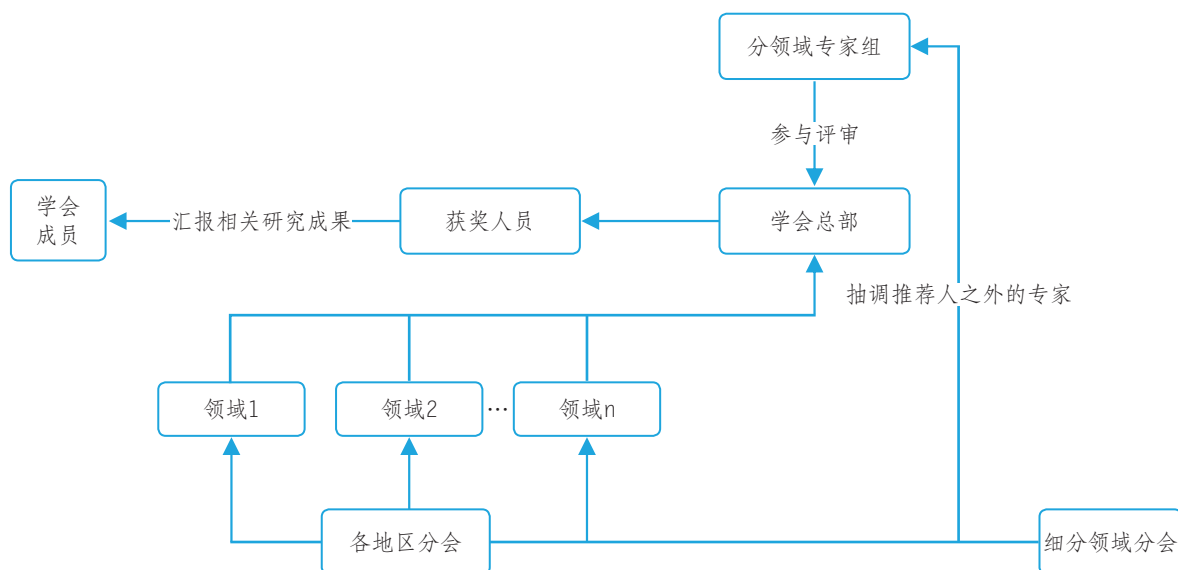


图3 学会青年奖的一般流程

图源：主要参照日本物理学会、化学学会、化工学会奖项评选流程整理。

学会方面，科学学会所设青年奖项一般只针对学会内部成员颁发，不对外开放，因此评审流程相对独立和封闭，采取同样是推荐审核制。日本的科学学会规模庞大，在各地都设有分会，其下各细分领域内也有独立的研究者团队。所以在申请和评审流程中，往往会按照地区或者领域来分配参选名额，如日本物理学会青年奖候选人每年都会从“素粒子论”“宇宙物理”等6个大领域以及“半导体”等11个细分小领域中由各领域的专家推荐产生^[35]。学会设有专门的推荐委员会，各地区和领域支部设有专门的推荐委员会，由支部负责人选出各支部的推荐委员，推荐委员与最终的评审委员不能有重合，以保证最终评选结果的公正。送审材料与政府所设青年奖大同小异，最终由学会总部审核确定。最终评选时的选拔委员会由各细分领域的专家组成，最终获奖者的确定方式以投票制为主。

日本科学学会重视学术演讲交流，在多数学会中，青年奖的获奖者都需要在获奖之后的当年或次年在学会发表演讲汇报获奖的研究项目，这不仅促进了青年科学家的学术交流，实际上也是一种较为有效的信息公开和监督手段。

3.2 奖励对象：从“项目”到“人”的转变

传统奖项往往按照科研项目或论文进行奖励，奖励单位往往是“件”，也就意味着获奖人数并不固定，科研成果的所有者们可以共同享受一件获奖作品的奖励。而青年科学家奖则多以个人为奖励对象，虽然入选的主要标准依然是论文和研究的质量，但是实际奖励的对象却发生了实质性的变化，从对“项目”的奖励转变为对“人”的奖励。这一变化的出发点也可以从白皮书中发现，文部科学省2004年白皮书中明确提到，要鼓励青年人独立承担科学研究，让青年科学家起到“挑大梁”的作用^[30]。如果以件为单位，必然会涉及一些不同年龄段科研人员合作的成果，进而弱化对青年人的奖励作用。限制年龄并非降低了对科研成果的质量要求，而是更加侧重于评价参选人员研究成果的创新性和探索性。

在对“人”作为奖励对象的重视上，日本青年奖还表现出了对获奖者性别的考量。日本青年科学奖的评选特别重视女性科学家的参选，并且通过具体操作来鼓励女性科学家，比如文部科学省青年奖不仅会在每年的征集材料中特意强调积极推荐女性候选人，而且推荐机构在进行推荐

时, 还需要单独填写该机构当年推荐者和过去历年获奖者中的女性人数以及占总人数的比例, 将此作为评奖的参考标准之一^[36]。对女性科学家的重视不仅体现于此, 青年奖在审查年龄时, 往往会考虑女性生育情况进行适度放宽, 如学术振兴会奖规定一般入选者年龄不超过45岁, 但如果有候选人曾因生育中断学术研究3个月以上可以将年龄上限放宽至47岁^[34]。

3.3 奖金和奖励分量: “小奖金”的大分量

在奖金方面, 总体上青年奖的奖金远低于传统科学奖项, 且获奖人数显著多于传统奖项。比如, 在日本政府设置的奖项中, 文部科学省所设青年科学家奖没有奖金, 仅授予荣誉表彰。2021年, 日本文部科学省的传统奖项——科学技术奖涉及的五个下级奖项奖励情况分别为: 发展部门18件、研究部门45件、技术部门10件, 科技促进部门7件, 科普部门13件, 而同年的青年奖则一共颁发了97件(人), 超过了前设各部门奖项之和^[37]。

传统奖项虽然奖励人数少, 获奖难度大, 但是对获奖者的奖励力度往往也非常大, 比如在日本学术振兴会所设奖项中, 每年颁发一次的“国际生物学奖”原则上每年只奖励一人, 获奖者奖获得一千万日元的奖金^[38], 五年颁发一次的“野口英世非洲奖”的奖金则高达一亿日元^[39]。而奖励青年学者的“学术振兴会促进奖”每年奖励人数上限为25人, 奖金为110万日元/人。

虽然青年奖奖金普遍较低, 但是评价奖项的分量, 需要回到颁奖的实际过程中, 既要考察奖励设置的情况, 如奖金、颁奖规格等, 也要看奖项奖励的对象, 以及同样的奖励对不同对象所产生的意义。在整个社会的影响力上, 青年奖当然不及传统的“顶格”奖项, 但如果从奖励对获奖对象的影响程度来考察的话, 青年奖的效果丝毫不逊于其他奖项。位于科学奖励系统金字塔塔尖的奖项的获奖者们, 绝大多数都是已经不再缺少荣誉的领域带头人。而对于初入科研领域青年科

学家来说, 他们几乎不可能获得这些最高级别奖项, 在这个时候, 学会和政府颁发的这份奖金和荣誉对于他们而言当然具有十分重要的分量, 不仅能够激励他们继续充实所在领域的研究, 而且无疑是他们之后科研之路上极具分量的通行证。

这一结论可以通过考察部分青年奖获奖者的科研经历得到论证。在不同主体颁发的青年奖获奖人员中, 相当一部分获奖者会在获奖年份附近的几年同时获得多个青年奖。如在2005年获得第一届日本学术振兴会奖和文部科学省青年科学家奖的日本化学家石原一彰(Kazuaki Ishihara), 在获得该奖之前, 就已分别在1994年和1996年获得了井上鼓励奖和日本化学会研究进步奖^[40]。植物学家谷部光泰(Mitsuyasu Hasebe)同样在2005年同时获得了日本学士院鼓励奖和日本科学振兴会奖, 在1997年, 他也曾获日本植物学会颁发的鼓励奖^[41]。类似的情况在青年奖的获奖者中十分普遍, 在年份较近的几年时间当中密集地获得不同主体颁发的青年奖, 意味着一个青年科学家在他所在的领域已经开始得到广泛的认同, 也侧面反映了青年奖对于优秀青年科研从业者起到的“通行证”的作用。

3.4 奖励效果: 发掘青年人才、留住青年力量、激励更多青年投身科研

青年奖的繁荣是近20年来日本科学奖励制度中的新动向, 由于发展时间较短, 即使是青年奖早期的获奖者目前大多也尚处在学术的上升期而尚未达到顶峰, 因此, 在青年奖的获得者中, 暂时没有出现诺贝尔奖、京都奖等具有国际影响力的顶尖奖项的得主。但是这并不意味着青年奖的获奖成员在获奖后没有取得杰出的科学成就, 相反, 早期获奖者很多都已经成长为日本学界的中流砥柱, 这一结论可以通过考察获奖者在获得青年奖之后的获奖情况得到论证。

大量青年奖的获奖人员在若干年后都会获得包括日本学士院奖、文部科学省科学奖、学会传统奖项等大奖, 这些奖励标志着他们达到了日本

在该领域研究中的顶尖水平。以日本学士院鼓励奖为例, 该奖前三届(2005—2007年)共产生了9位自然科学领域的青年获奖者, 这些获奖者中, 所有获奖者都获得过不止一次青年奖, 而且在获得日本学士院奖之后, 有8位获得了由政府、学会或者财团颁发的非青年类的传统科学家奖^[42]。如第二届得主渡边嘉典(Yoshinori Watanabe)曾获2009年度“井上奖”、2013年“上原奖”、2015年“武田医学奖”“朝日奖”和2016年“内藤纪念奖”^[43], 对于获奖的研究人员来说, 青年奖往往只是他们科研奖励中的起点。

青年奖作为日本科学激励政策中的重要部分所发挥的作用, 从日本科研领域近年来宏观数据的变化方面也可以窥见。

宏观上, 从科研领域中青年从业者的数量和比例的变化可以间接感知科研奖励措施产生的作用。如图4所示, 从1999年起, 日本自然科学领域博士毕业数量逐年增长的态势被打破, 之后总体呈现出波动下滑趋势, 2010年起, 波动下滑的态势一定程度上被遏制, 2014年之后开始出现小幅上涨趋势。这一数据从侧面表明日本的科学政策对青年研究群体产生了较为明显的影响, 在人口老龄化趋势并未停止的前提下, 自然科学领域科研人才产出数量并未持续下降。各种配套的激励措施与诸多青年科学奖项的实施无疑是为从上个世纪末开始进入疲软期的日本科研界注入的一支强心剂。

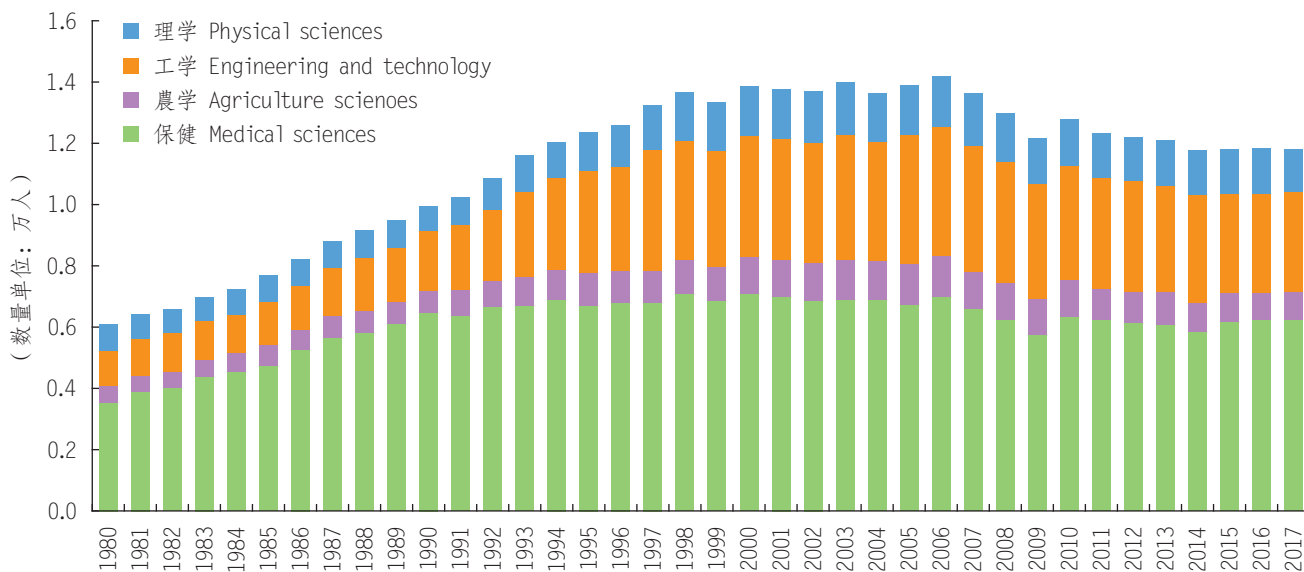


图4 日本各自然科学学科(1980—2017年)博士学位获得者数量变化趋势

图源: 文部科学省2020年科学技术统计数据^[44]。

4. 结论与启示

目前我国发展已经进入了从要素驱动、投资驱动向创新驱动转变的新阶段, 而创新驱动实质上是人才驱动。青年科技人才求知欲饱满, 探索兴趣旺盛, 接受新知识快, 面对科技发展更新迭代速度不断加快的形势, 更容易走在科学前沿。为实现我国到2035年跻身创新型国家前列的目标, 迫切需要一大批优秀青年科技人才, 持续激

发其创新活力。因此将培育国家战略人才力量的政策重心调整到青年科技人才上来, 是实现人才强国的必由之路。日本科学奖励中的青年奖历史悠久, 体系完备, 特色鲜明, 即使放在全球范围内也非常值得借鉴。

4.1 鼓励多元主体参与, 增设青年科学家奖项, 扩大青年科技人才奖励规模

2017年, 国务院办公厅印发《关于深化科技

奖励制度改革方案》(以下简称《方案》),《方案》明确鼓励学术团体、行业协会、企业、基金会及个人等各种社会力量设立科学技术奖,鼓励民间资金支持科技奖励活动^[45]。目前,我国民间的一些企业已经开始探索青年奖,如阿里巴巴集团2018年设立的“青橙奖”,专门奖励年龄在35岁以下的青年科学家^[46]。据不完全统计,90年代末,我国民间科技奖励仅有20余项^[47],而根据国家科学技术奖励工作办公室2021年3月发布的最新数据,截至2019年2月,我国登记在册的民间科学奖项已达297项之多,这些奖项的设立主体涵盖了公司、基金会、学会等多类主体,奖励内容和奖励体系也初见雏形^[48],但是在国内行业中的影响力和公信力与日本历史悠久的学会奖项相比仍有不小的差距,在评选流程和信息公开方面也有较大提升空间。

于我国的青年奖的设置而言,首先,应增强官方科技奖励的梯度性,增设面向青年科技人才的专门奖项,扩大表彰范围和奖励受众,以权威的官方承认彰显对青年科技人员研究工作的肯定,营造鼓励青年科技人才发展的良好氛围,提升科研人员从事科学研究的内在积极性。

其次,鼓励协会组织和企业等社会力量奖励设立青年奖项,同时积极发挥高校和科研机构在青年科学家奖励中的作用,加大对青年科学家研究活动的支持,扩大对青年科学家的支持规模。

最后,加大对现有的青年人才评价体系中等量级的人才计划、人才称号的统一管理和规范,避免增加新的人才“帽子”。

4.2 建立起覆盖多领域的优秀青年科技人才的发现和推选机制

日本青年奖的颁奖理念表明科学奖项不应该只是注重锦上添花,也应当注重承担发掘科研领域未来的“千里马”。2020年10月27日,国务院通过了修订后的《国家科学技术奖励条例》,重新规范了科学奖励的评审和申请流程以及各项制度^[49]。对此,《光明日报》发文解读:“长期以

来,国家科技奖的推荐主体是政府部门,专家学者和学术组织参与较少,行政色彩较浓,在实际工作中变成了个人申报制,容易引发‘跑指标’等诸多问题,削弱了国家科技奖评奖的学术导向。这逐渐成为许多科技工作者共同呼吁解决的问题。^[50]”在日本的科技奖励体系中,行政化导向很弱,各奖项的评审委员中,基本都来自学界。日本青年奖评选不仅严格限制非科学共同体成员的干预,也重视科学共同体内部的专业界限划定,每个专业奖项都是严格由本专业的知名学者来进行评选,跨专业评选的现象较少,更不会出现一套班子评选所有奖项的情况。

青年科技人才尚处于职业生涯早期,在学科领域的研究影响力往往较低,奖励表彰需建立起科技人才的发现机制。科学共同体组织是青年科技人才的主要工作机构,在设置和评选科学奖项时有显著的优势。

一方面,要加大高校、科研机构、学会组织、创新型领军企业等青年科技人才工作机构在发现优秀科技人才中的作用,以公开、公平、公正的方式,积极推荐具有价值的研究成果和青年研究人才,吸纳各领域的权威专家参与奖励候选人的评选和审查。另一方面,要加大对世界科技前沿、经济主战场、国家重大需求、人民生命健康等重点领域和重点学科青年人才的培育和持续关注,挖掘一批战略性的青年科技先锋。

4.3 同向发力多策并举,创造青年科研人员可以充分发挥其能力的研究环境

奖励表彰对增强青年科技人才研究动力激励效应明显,但是面对我国青年科技人才担当机会少、成长通道窄、生活压力大等诸多困难,提升青年科研人员研发活力还需多措并举,营造良好的发展生态。

一方面,要制定普惠性的青年科技人才专门计划,扩大对青年科技人才研究经费的支持力度,提供专门的科研基金支持,稳定和壮大青年科技人才队伍,为绝大多数青年科技人才的发展

提供良好的科研平台与机会。另一方面要保障青年科技人才稳定的职业发展道路, 松绑减负, 加强生活保障, 保护青年科技人才的科研热情, 树立正确的科学价值观, 不浮躁, 不急功近利, 做负责任的研究与创新。

责任编辑: 李琦 校对: 李琦 陈峰

参考文献

[1] [美]R.K.默顿.科学社会学[M].鲁旭东、林聚任译.北京:商务印书馆, 2003.

[2] 马晨一, 诸葛蔚东, 傅一程.日本科普奖励制度中的组织行为体研究[J].中国科技论坛, 2020(10):169-178.

[3] 李颖.日本科技奖励体系概况及其特征分析[J].中国科技奖励, 2017(09):64-67.

[4] 张微, 蔚晓川.日本民间科技奖励制度研究[C]//2017年北京科学技术情报学会年会——"科技情报发展助力科技创新中心建设"论坛论文集, 2017:181-187.

[5] 胡平, 吴善超, 李聪, 等.我国杰出青年科技人才资助成果的评价研究[J].科学学与科学技术管理, 2010,31(03):190-194.

[6] Mervis J. A peek at peer review helps young scientists.[J] Science, 2016,352(6292), 1379-1379.

[7] Bollen J, Carpenter S R, Lubchenco J, et al. Rethinking resource allocation in science.[J].Ecology and Society, 2019,24(3).

[8] 日本学士院恩赐奖[EB/OL].[2022-3-14].https://www.japan-acad.go.jp/japanese/activities/index.html.

[9] 日本注册学会名录.[EB/OL].(2022-1-15)[2022-3-14]https://gakkai.jst.go.jp/gakkai/.

[10] 日本民间主要财团信息汇总[EB/OL].(2019-2-4)[2022-2-24].https://www.keguanjp.com/kgjp_baike/pt20190224143201.html.

[11] 日本文部科学省下设机构组织分类情况[EB/OL].(2019-9-13)[2022-8-21].https://www.mext.go.jp/b_menu/link/main_b12.htm

[12] 日本学术振兴会奖[EB/OL][2021-12-12].

https://www.jsps.go.jp/jsps-prize/gaiyo.html.

[13] 井上财团各奖项[EB/OL].(2021-12-1)[2022-3-25].http://www.inoue-zaidan.or.jp/f-02.html.

[14] 仁科财团科学奖项[EB/OL].[2022-3-21].https://www.nishina-mf.or.jp/project/award.

[15] 柯尼卡美能达科技振兴财团科技奖项[EB/OL].[2022-3-21].https://www.konicaminoltastf.or.jp/prize.htm.

[16] 日本物理学会青年鼓励奖[EB/OL].[2022-3-25].https://www.jps.or.jp/activities/awards/wakate_about.php.

[17] 日本光学会奖项[EB/OL].[2022-3-21].http://myosj.or.jp/awards/.

[18] 日本地震学会青年学术鼓励奖[EB/OL].[2022-3-18].https://www.zisin.jp/awards/pdf/2020young.pdf.

[19] 日本化学工学会奖励[EB/OL].[2022-3-15].https://www.scej.org/award/scej-awards/.

[20] 日本磁学会青年论文鼓励奖[EB/OL].(2018-12-19)[2022-3-18].https://www.magnetics.jp/society/msjencouragementaward/.

[21] 日本生物工程学会各科学奖项[EB/OL].(2022-8-25)[2022-8-25].https://www.sbj.or.jp/awards/.

[22] 日本天文学会各科学奖项[EB/OL].[2022-3-15].https://www.asj.or.jp/jp/activities/prize/.

[23] 日本化学学会奖项https://www.chemistry.or.jp.

[24] 日本稻盛财团京都奖[EB/OL].(2022-6-29)[2022-8-20].https://www.kyotoprize.org/en/about.

[25] 日本学士院奖2021年获奖者信息[EB/OL].(2021-6-21)[2022-3-15]https://www.japan-acad.go.jp/japanese/activities/jyusho/111to120.html.

[26] 文部科学省2021年各奖项获奖人员信息[EB/OL].(2021-4-12)[2022-3-25].https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/mext_00547.html.

[27] 文部科学省2022年《科技白皮书》[EB/OL].(2022-6-14)[2022-8-20].https://www.mext.go.jp/

content/20220608-mxt_kouhou02-000023228_2.pdf.

[28] 文部科学省科技政策研究所2022年《科学技术指标》[EB/OL].(2022-6-10)[2022-8-20]https://nistep.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=6798&file_id=13&file_no=3.

[29] 文部科学省1998年《科技白皮书》[EB/OL].(1998-5)[2022-2-20].<https://whitepaper-search.nistep.go.jp/white-paper/view/19789>.

[30] 文部科学省2004年《科技白皮书》[EB/OL].(2004-6)[2022-3-21].<https://whitepaper-search.nistep.go.jp/white-paper/view/24810>.

[31] 文部科学省2006年《科技白皮书》[EB/OL].(2006-6)[2022-3-21].<https://whitepaper-search.nistep.go.jp/white-paper/view/25864>.

[32] 文部科学省征集奖项推荐的通知[EB/OL].(2022-5-31)[2022-6-25].https://www.mext.go.jp/b_menu/boshu/detail/1417596_00004.htm.

[33] 文部科学省诸奖项申请材料[EB/OL].(2022-6-15)[2022-7-15].https://www.mext.go.jp/b_menu/boshu/detail/attach/1417621_00002.htm.

[34] 日本学术振兴会奖评选流程[EB/OL].(2022-1)[2022-3-15].<https://www.jsps.go.jp/jsps-prize/data/youkou.pdf>

[35] 日本物理学会青年奖评奖领域[EB/OL].(2021-10)[2022-3-2].<https://www.jps.or.jp/activities/awards/jusyosya/wakate2022.php>.

[36] 文部科学省青年科学家申请文件(第6项:"性别配置表")[EB/OL].(2022-6-15)[2022-7-2].https://www.mext.go.jp/b_menu/boshu/detail/attach/1417621_00002.htm.

[37] 文部科学省2021年各奖项获奖人员信息[EB/OL].(2021-4-12)[2022-5-25].https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/mext_00547.html.

[38] 日本学术振兴会"国际生物学奖"[EB/OL].(2022-1-14)[2022-3-25].<https://www.jsps.go.jp/j-biol/index.html>.

[39] 日本学术振兴会"野口英世奖"[EB/OL].(2022-1-14)[2022-3-25].<https://www.jsps.go.jp/>

j-noguchiafrica/index.html.

[40] 石原一彰(Kazuaki Ishihara,1963-)获奖信息[EB/OL].(2022-8-18)[2022-8-20].<https://researchmap.jp/read0011289>.

[41] 长谷部光泰(Mitsuyasu Hasebe,1963-)获奖信息[EB/OL].(2022-8-18)[2022-8-20].<https://researchmap.jp/mhasebe/awards>.

[42] 日本学士院学术鼓励奖历届获奖者信息[EB/OL].(2022-3-20).<https://www.japan-acad.go.jp/japanese/activities/jyusho/s001to010.html>.

[43] 渡边嘉典(Yoshinori Watanabe)获奖信息[EB/OL].(2021-8-18)[2022-8-20].<https://researchmap.jp/read0007799>.

[44] 文部科学省2020年科学技术统计数据[EB/OL].(2021-8-13)[2022-3-4].https://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/006/006b/1413901_00004.htm.

[45] 中国新闻网报道[EB/OL].(2017-6-10)[2022-3-2].https://www.sohu.com/a/147590641_123753.

[46] 阿里巴巴达摩院青橙奖[EB/OL].(2022-3-18)[2022-3-20].<https://damo.alibaba.com/damo-academy-young-fellow/>.

[47] 钟书华,王炎坤,艾一梅.我国民间科技奖励的现状特点[J].科学学与科学技术管理,1996(08):18-20.

[48] 我国民间科学技术奖项一览[EB/OL].(2021-3-22)[2022-6-20].<http://www.nosta.gov.cn/web/detail.aspx?menuID=174&contentID=2863>.

[49] 国务院《国家科学技术奖励条例》[EB/OL].(2020-10-27)[2021-12-21].http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-10/27/content_5555074.htm.

[50] 《光明日报》对科学奖励政策解读[EB/OL].(2020-01-09)[2022-3-21].http://www.gov.cn/zhengce/2020-01/09/content_5467690.htm.

(下转第92页)

科技文化融合视角下科技馆展品视频 创新实践与思考 ——以《触摸科技》展品纪录片为例

郝倩倩

(中国科学技术馆, 北京 100101)

摘要: 科技馆展品视频是运用影音视听语言将展品中的科技与文化进行艺术化融合呈现的重要表达形式。以纪录片《触摸科技》为例, 从科技与文化融合的视角, 在精细化选题、专业化分工协作工作、立体化传播等方面探索科技馆展品视频的创新途径, 提出未来科技馆展品视频应进一步注重品牌建设、提升内容品质、加强协作传播。

关键词: 科技, 文化, 融合, 展品视频

科技馆通过展览展品和教育活动向公众普及科学知识, 激发公众对科学的兴趣和好奇心, 在潜移默化中提高全民科学文化素质。随着信息技术发展, 公众对于科技馆科普形式和内容的需求也在不断发生变化, 承载内容更丰富、传播范围更广泛的科技馆展品视频节目成为科普服务的重要形式。展品视频不仅能够拓展实体展品展览的传播渠道和覆盖范围, 还能够通过寓教于乐的影视手段呈现展览展品中蕴含的文化内涵, 促进科技和文化的融合与传播。

当下科技馆展品视频的创作及传播都存在不足之处, 公众对于高品质科技馆展品视频的需求和创作模式传统守旧、视频品质良莠不齐、传播渠道被动单一等的矛盾已经成为制约行业发展的重要因素。分析问题所在、探索突破之道, 是实现科技馆展品视频创新升级的有效途径。

1. 科技馆展品视频的研究现状

近年来, 以博物馆为主题的视频节目精品频

出, 《我在故宫修文物》《国家宝藏》《如果国宝会说话》等优秀文博类节目在收获大批粉丝点赞的同时, 也带动了整个博物馆行业的蓬勃发展。相关学者对新时代博物馆视频节目创新转型、叙事表达和传播策略等方面进行了大量研究。例如, 王政勋以《国家宝藏》节目为研究案例, 探讨我国文博类电视节目发展的现状和问题, 探究文博类电视节目的创新策略, 从节目形式、节目内容、节目制作和营销传播四个层面对文博类电视节目提出优化建议^[1]。刘蒙之认为纪录片应该摆脱宏大叙事的桎梏, 以人为本、厚今薄古、平民视角、微末叙事, 真正做到雅俗共赏, 让普通观众找到精神的共鸣^[2]。王瑞琪以《如果国宝会说话》第一季为研究对象, 首先从传播主体、内容、渠道、受众四方面深入剖析该片在B站这个年轻人高度聚集的新媒体平台具有何种传播特征, 其次通过对弹幕的分类与统计并结合访谈内容, 从“认知”“态度”“行动”三个层面分析该片在B站的传播效果^[3]。

作者简介: 郝倩倩, 女, 副研究员, 中国科学技术馆, 研究方向为科普影视、科普信息化。

与文博类电视节目蓬勃发展的现状形成鲜明对比,科技馆展品类视频节目发展较为滞后,与此相对应,相关研究文献也极为欠缺,少量的研究聚焦于叙事创新、展品可视化等。例如,潘希鸣从展品叙事切入,通过融媒体叙事、影像化叙事以及故事化叙事三个维度,探索当代科技馆展品叙事的审美创新,勾勒出新时期科技馆展品创作、传播的新路径^[4]。郝倩倩结合《流言终结者》和《加油!向未来》中科学实验的案例分折,提出基于验证法的科普影视创作方法对科普场馆实践的启示,其中包括科技馆展品“小场景化”的“大实验”等^[5]。

本文探索科技文化融合视角在解决科技馆展品视频供需矛盾方面的优势,以《触摸科技》展品纪录片为例,分析科技与文化融合视角下节目选题、创作及传播特征,探索新时代科技馆展品视频节目创新法则。

2. 科技文化融合视角在创新科技馆展品视频方面的优势

以往围绕科技馆展品创作的科普视频,大多采用辅导员出境讲述的形式,介绍展品的名称、特点、操作方式、科学原理等基本信息。这种形式的展品视频,从节目设计、脚本撰写、镜头运用到剪辑包装等方面都非常传统,多年来未有较大的变化与突破,与近年来频频创新且深受公众欢迎的博物馆类视频节目相比,差距显著。此外,目前科技展品视频在使用场景方面,主要以二维码的形式在展品说明牌中进行呈现,以此作为对展品讲解词的辅助,视频的受众主要是科技馆参观观众,科技馆展品视频节目鲜有通过电视、网络等媒体向公众主动推送,传播的深度、广度都严重不足。

科技与文化的融合,为科技馆展品视频创新提供了新的视角。回顾人类历史发现,文化与科技的交融推动着人类社会的发展,在具体的科技创新中,文化亦是推动科技发展的动力,科技发

展反过来又能促进文化的大繁荣^[6]。2019年8月,六部门印发《关于促进文化和科技深度融合的指导意见》的通知,旨在促进文化和科技深度融合,更好满足人民精神文化生活新期待,增强人民群众的获得感和幸福感。

关于科技与文化融合,并没有统一的概念。杨君从文化与科技融合角度进行了较为全面的概括,认为,文化与科技的融合是指通过将各类文化元素、内容、形式和服务,与科学技术的原理、理论、方法和手段的有机结合,提升文化产品的价值与品质,形成新的内容、形式、功能与服务,更好地满足人民物质文化需求的创新过程^[7]。事实上,关于科技与文化融合,涉及科技中的文化要素和文化中的科技要素两个方面,本文侧重研究科技展品中的文化内涵,并在此融合视角下探索创新科技展品视频。

2.1 从需求角度,满足公众日益增长的科技文化需求

党的十九大报告指出:中国特色社会主义进入了新时代,我国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾。从需要性质来看,人类需要大致可划分为三个层次,第一层次是物质性需要;第二层次是社会性需要;第三层次是心理性需要,指的是由于心理需求而形成的精神文化需要^[8]。科技文化需求即属于第三层次心理性需要。宋南平认为,科学本身就是文化的重要组成部分,科学是使主观认识与客观实际实现具体统一的实践活动,而文化则被视为一种社会现象,它是人类长期创造形成的产物,随着现代科技的飞速发展,科学文化渗透于我们的物质生活和精神生活之中,与每个人的衣食住行息息相关,成为影响公众思维方式和行为方式的新常态^[9]。满足公众日益增长的科技文化需求,应将科技和文化作为一个整体,相互融合、相互促进、协调发展。

科技馆展品作为一种公共文化设施,承载的功能不仅是知识层面的普及还包括精神层面的提升。科技文化融合视角下的科技馆展品视频,可以通过创新的叙事方式和影音技术手段将展品中蕴含的科技元素与文化元素进行融合呈现,弥补现场实物展品承载内容的限制,满足公众对优质科技文化产品的需求。

2.2 从供给角度,提升科技馆展品视频品质的有效途径

《全民科学素质行动规划纲要(2021—2035年)》提出:“深化供给侧改革,推动科普内容、形式和手段等创新提升,提高科普的知识含量,满足全社会对高质量科普的需求”^[10]。时代的发展和技术的演进,为公众提供了越来越丰富的物质文化及精神文化产品,同时也为公众带来了更加多样化的选择机会和参与对话的权利。深化科普的供给侧改革,就是要不断创新,向公众提供多样化的优质科技文化产品。

如前文所述,当下科技馆展品视频存在诸多问题,科技馆展品视频创新升级即是时代的要求,亦是自身发展的必由之路。科技与文化融合为科技馆展品视频创新升级提供了一个全新的视角和机遇。首先,科技与文化融合是讲好展品故事的基础。科普的一大难点是将略显枯燥的科技知识用公众喜闻乐见的形式表达呈现。“讲故事”无疑是一种很好的形式。科技馆展品中蕴含的不仅有科技知识,还有凝结于其中的科学思想、方法、精神等,将“知识”中“物”的元素与“思想、方法、精神”中“形”的元素相结合,也就是将科技与文化相结合。多元的文化元素丰富了科技展品的内容,用故事的形式进行叙事,用视频的手段进行呈现,有助于拉近科技与公众的距离。其次,科技与文化融合是提升视频品质的手段。科技改变生活,也改变了信息的生产和传播方式。科技馆展品视频作为一种科技文化产品,创意、拍摄、包装、传播各个环节都需

要科技与文化共同作用。一方面用文化的理念丰富科技展品的内涵和外延,使科技展品视频内容更加丰富生动;另一方面用科技的手段推动科技馆展品视频的生产和传播,使其影音日臻精美、传播越加高效。

3. 科技文化融合视角下科技馆展品视频的创作及传播特征——以《触摸科技》为例

在科技与文化融合的视角下,2019年,中国科技馆创作推出《触摸科技》创意展品纪录片,该片聚焦各地科技馆特色展品,深入挖掘展品历史、设计理念、特色内容等,运用故事线的形式进行讲述,运用多样化视听语言进行呈现。该片一经推出就获得学界、业界及广大观众的高度评价与强烈反响,部分节目在央视一套播出后广受好评,收视率居早间同时段全国第一^[4];节目经二度创作后在网络及短视频平台播放,同样收效良好。《触摸科技》展品纪录片创作及传播特征主要包括以下几方面。

3.1 选题策划——探寻科技馆展品与文化的交融点

当前,我国科技馆展品更多注重科学性和互动性,因此挖掘科技展品的文化内涵是进行选题策划的第一要务。根据视听语言特征及文化内涵的表达方向对科技馆展品进行分类,根据不同类型展品的特质,探讨其中科技与文化的交融点,不仅对于选题策划意义重大,也为后期工作奠定良好基础,当下科技馆展品可以分为五种类型。

(1) 古代科技展品。古代科技展品主要展示我国古代科技与文明成就,例如公道杯、大花楼织机、指南车等。这类展品与文博类藏品有较高的相关性,可供挖掘的文化内涵也较为丰富,视频可以从历史发现、科学原理、古代应用、当代传承等方面呈现。

(2) 经典科技展品。经典科技展品主要展示了近代以来在基础科学领域的探索与发现成果,

例如锥体上滚、傅科摆等。这类展品视频可以将科学原理、科学现象、发现历程及其在生活中的应用等方面结合起来,展现人类在探索科学历程中的科学思想和科学方法。

(3) 地方特色展品。地方特色展品主要展示具有地方特色的历史和科技成果,例如四川科技馆的自贡盐井,甘肃科技馆的风力发电、山西科技馆的黄土高原等。这类展品将古今科技成就与各地地域特质相结合,是科技馆展品中最具特色的一类,避免了科技馆展品同质化高的问题,视频可以重点展现地理风貌、历史沿革、科技发展、民生应用等方面。

(4) 高新科技展品。高新科技展品主要通过观察和体验的形式展示高新技术产品及应用,例如3D打印、VR体验、人工智能等相关展品。这类展品视频除了展示高新科技展品的视觉呈现外,还可以重点突出时代的力量、人物的价值以及未来应用展望等。

(5) 科技藏品。科技藏品是具有一定历史价值和科学价值,并能够反映某一时期自然演化进程或人类科学文化进程的历史见证物,主要包括自然标本、科学仪器、工业设备等^[6],例如中国科技馆的神舟一号返回舱。科技藏品视频在展示历史演进、技术发展以及深融于其中的“人”的价值方面,具有独特优势。

3.2 创作模式——专业化分工协作

科技馆展品视频的制作过程简单而言可分为三个阶段——脚本创作、拍摄剪辑、动画包装,各个阶段需要进行专业化的分工协作,这是打造高品质视频不可或缺的元素。

3.2.1 脚本创作——运用故事化叙事融合科技与文化 科技馆展品视频的意义不仅在于向公众展示科学知识、科学原理,还应当将科学思想、科学方法、科学精神融入其中,在潜移默化中提升公众的科学文化素质。在有限的时长内,讲清楚展品中的科学,并挖掘展示其中

蕴含的文化,是科技馆展品视频创作面临的难题,对脚本创作提出了很高要求。故事化叙事是纪录片呈现镜头、表达思想和吸引观众兴趣的重要方式,也是揭示纪录片真实事件背后规律性和本质真实的手段^[11]。

《触摸科技》系列节目聚焦科技馆展品本身,多以“第一人称”的方式让展品讲述自己的故事与感悟,与以往讲解式科普相比,这种叙事形式更加鲜活生动。例如,《神舟一号返回舱》一集,运用第一人称的叙事视角,让“神舟一号返回舱”讲述自己从太空返回地面的过程中所经历的种种神奇与惊险,将“推进舱”“轨道舱”比作自己的兄弟,将“烧蚀材料”比作自己的外衣,带领观众一起穿越“黑障区”并成功落地,娓娓道来自己外形特征与如今斑驳外表的来历,并深深表达自己对中国航天的骄傲之情。通过“故事化叙事”的文本表达,带领公众一起经历神舟一号返回舱惊心动魄的航天历程,感受中国航天精神,这无疑是科技展品视频脚本创作中融合科技与文化的一种有效手段。

此外,标题亦是文本创作中不可忽视的一个重要元素,不仅要提纲挈领、一语道明,还要抓住观众眼球。《触摸科技》系列片中每一集的标题都包含一个主标题和一个副标题,主标题是展品名称,副标题是展品特征,副标题的设计注重突出艺术性、文学性和“新奇特”性。如《大花楼织机——一位汉代程序员的自白》《电磁大舞台——十万伏的表白你敢接受吗》《莫比乌斯环——无限循环的空间》等。

3.2.2 拍摄剪辑——运用镜头语言呈现科技馆展品的艺术性 视频节目主要通过画面向公众传递思想、表达情感。因此,镜头的选择与衔接,景别的运用及变换,以及后期的剪辑与整合等,都会对成片产生重要影响。特别对于科技馆展品类视频而言,一方面必须要通过镜头准确记录下展品展示的科学现象,另一方面还要通过不同拍摄手法、摄影技巧、灯光变换之间的协调配合,呈现

科技馆展品中的艺术和美。

《触摸科技》节目综合运用多种摄影技术来呈现科技展品的技与美。例如在拍摄四川科技馆展品《都江堰》中,运用水下摄影的方法,将小场景拍摄出了宏大感;在拍摄中国科技馆展品《大花楼织机》时,运用灯光布景,打造出织机一天中的晨昏变化等。在专业化摄影剪辑技术的加持下,镜头中科技馆展品焕然一新,呈现出技术与艺术的协调,科技与文化的统一。

3.2.3 特效包装——运用后期动画实现科技馆展品的完整表达 多样化的特效动画,不仅是对于镜头无法表达的科学知识的辅助阐释,也是丰富影像叙事的有效手段。科技馆展品的内核是科技,其中的科技之美有时仅仅运用镜头难以充分呈现。特效动画作为实拍类视频节目的有效补充,在辅助阐释科技原理方面,具有不可替代的优势。例如在讲述内蒙古科技馆展品《八大行星》时,运用三维建模的形式生动模拟出太阳系八大行星的轨道运行状态。与此同时,多样化的特效动画也是丰富科技展品趣味性和影像叙事的重要手段。在《触摸科技》节目中,根据不同文本表达需求,综合运用了水墨动画、剪纸动画、沙画等多种动画形式,使整体系列片的视觉呈现更加丰富、生动、完整。

3.3 传播途径——打造线上线下相结合的传播矩阵

科技馆展品视频不仅是实体科技馆展品的影像化展示方式,亦是科技馆展品社会化传播的载体。《触摸科技》系列节目在传播过程中依托中国特色现代科技馆体系地域覆盖广泛的线下传播特点,充分发挥融媒体平台7×24小时不间断的全域传播优势,通过线上与线下相结合的立体化传播矩阵,打造科技馆行业视频节目品牌。

3.3.1 发挥现代科技馆体系线下传播优势 现代科技馆体系是我国公共文化服务体系的重要组成

部分。2019年,全国302座科技馆服务观众超过8103.6万人次;“十三五”时期,流动科技馆服务基层公众9212.4万人;截至2020年,科普大篷车项目累计服务基层公众共2.75亿人次,形成覆盖乡村的科普服务网络;农村中学科技馆项目至今共在全国29个省(区、市)和新疆生产建设兵团建设了1112所农村中学科技馆,直接服务公众967万人次以上^[8]。

中国特色现代科技馆体系广泛的线下人群是《触摸科技》视频节目的潜在的受益观众。该系列节目可以在全国各地实体科技馆内的大屏、流动科技馆、科普大篷车以及农村中学科技馆相关展品及车载屏幕进行播放;可以通过二维码在展品说明牌中展示,公众扫码即可观看;还可以与线下教育活动相结合,弥补教育活动中辅导员单纯讲述所带来的枯燥感。例如,中国科技馆“华夏科技学堂”开展的《天工开物》之“作咸”教育活动中,就将视频《自贡盐井》融入教育活动,公众在听、看、参与中了解历史、体验科技。

3.3.2 利用融媒体线上传播力量 媒介传播技术的更迭演进,拓宽了公众获取视频信息的渠道,除了传统的电视媒体之外,视频网站、短视频APP等强势崛起,逐步成为主流传播渠道。媒体融合背景下的视频节目传播,不仅仅是视频在不同平台的搬运,还应结合平台和用户特征,形成不同的生产和传播模式,实现不同媒体平台间的优势互补。

《触摸科技》系列纪录片注重与传统电视媒体的合作,于央视一套《生活圈》栏目播出,聚焦早间时段电视观众的科普需求;在腾讯、B站、微博、好看视频等网站开辟专题,通过留言、弹幕等形式积极与网络用户互动交流;此外结合热点对节目进行改编,在抖音、快手短视频平台适时推出,例如春节期间发布“花式拜年”话题,推出衣食住行相关的《公道杯》《大花楼织机》《黄土高原》等视频。

4. 科技文化融合视角下科技馆展品视频节目创新的思考

提升公众科学文化素质的需求,要求科技馆展品视频节目在科技文化融合背景下实现进一步创新升级,在分析用户需求及市场行业发展方向、深入挖掘科技展品中的文化内涵、用影视的语言呈现科技展品的技术与艺术的基础上,还要注重品牌建设、内容升级、协同传播。

4.1 深耕细作,创建科技馆展品视频节目品牌

品牌建设是当下科技馆展品视频节目的重要课题。目前,文博类视频节目经过多年的积累已经形成诸如《如果国宝会说话》《国家宝藏》等公众耳熟能详的品牌。文博场馆也与视频节目形成良性互动,实体场馆藉由优质节目成功“破圈”,行业美誉度极大提升,视频节目也进一步挖掘场馆内涵,不断推陈出新,收获公众好评。

科技馆行业展品视频节目品牌建设应当秉承深入而持续的发展原则,系统规划,深耕细作。节目创作要把握科技与文化相融合的时代背景,坚持“内容为王”的创作态度,创新思路,拓宽形式,特别是在选题和脚本阶段,深入挖掘科技展品中的科学元素及文化内涵,运用通俗且深受公众喜爱的语言及形式进行表达,努力在润物无声中实现公众科学文化素养的提升。同时,还应以“系列化”的形式面向社会不断推出精品科技展品视频节目,积累用户与口碑,形成品牌效应,最终实现科技馆行业和科普影视文化产品之间的持续良性互促。

4.2 推陈出新,探索影视技术与节目形式的融合

信息技术发展为影视节目带来的不仅是传播手段和渠道的变革,也是内容生产和表达方式的变革。数字化浪潮中,新技术应用使得影视节目的呈现手法和视觉体验都得到极大的提升。例如,2021年河南春晚的《唐宫夜宴》引爆网络,节目运用5G、AR等技术,将虚拟场景和现实

舞台结合,舞台上博物馆里沉睡的文物仿佛苏醒了过来,河南博物院的莲鹤方壶、贾湖骨笛等国宝藏品一一现身舞台,在场景转换中与演员曼妙的舞姿惟妙惟肖地互动。

科普场馆作为前沿科技体验基地,不仅要在实体场馆新技术展示体验方面发挥重要作用,还应当积极探索展品视频作品中与新技术的融合应用,例如节目拍摄过程中使用的虚拟演播室,后期制作中运用的水墨、剪纸、黏土等丰富的动画元素,融合AR/VR等技术的纪录片、短视频、舞台剧、科普剧等多种节目形式。新技术的探索及应用不仅能够带给公众耳目一新的视听震撼,更重要的是不断利用技术手段加强科技与文化的深度融合呈现,向公众提供更加优质的科技馆展品视频节目。

4.3 跨界合作,提升传播效能

科普影视是一个专业化程度较高、投入成本较大的行业。新时代为科技馆展品视频节目的发展提供了新的机遇,节目创作应秉承开放包容的思想,积极创新探索跨界合作的运营方式。一方面要加强科技馆体系与科研机构、文博机构、艺术机构等的合作,促进科技与文化、艺术的融合,讲好科技馆展品的文化故事,提升科技展品视频的艺术品格。另一方面要加强与影视制作机构、电视媒体、网络媒体等的合作,不断提升专业化制作水平和节目品质。与此同时,还要注重积极利用传统电视媒体和融媒体平台的传播优势和特性,拓展传播渠道,提升传播效果。未来还应进一步探索市场化的运营方式,建立起一条展览展品及影视作品从策划、制作、播出到文创周边产品开发的科普产业链,多方优势互补,合作实现共赢。

5. 结语

当下,十亿用户接入互联网,形成了全球最为庞大、生机勃勃的数字社会^[12]。科技馆展品视

频作为一种数字化科普资源,是沟通科技馆体系与社会公众之间的重要媒介。《触摸科技》系列展品纪录片在探索运用网络化的影视语言呈现展品中的蕴含的科技、文化与艺术等元素进行了有益尝试。面向未来,科技馆展品视频节目应进一步把握时代发展与人民需求,不断提升内容创作和传播能力,以更加优质的科普影视作品助力全民科学文化素质的提升。

责任编辑:李琦 校对:李琦 梁思琪

参考文献

- [1] 王政勋.媒体融合时代中国文博类电视节目创新策略研究——以《国家宝藏》为例[D].成都:电子科技大学,2019.
- [2] 刘蒙之.从宏大叙事到微末叙事——纪录片《我在故宫修文物》的创作理念创新[J].现代传播(中国传媒大学学报),2016,38(09):109.
- [3] 王瑞琪.文博类纪录片的新媒体传播策略研究——以《如果国宝会说话》在b站的传播为例[D].乌鲁木齐:新疆大学,2020.
- [4] 潘希鸣.当代科技馆展品叙事的审美创新——以中国科技馆为例[J].今日科苑,2021(03):85-

89.

- [5] 郝倩倩.基于验证法的科普影视创作研究[J].科普研究,2018(04):20-26.
- [6] 余子真.当代科技与文化融合背景下的战略研究与思考[A].科学与艺术·数字时代的科学与文化传播——2012科学与艺术研讨会论文集[C].2012.
- [7] 杨君.2012年文化产业的主题词"文化与科技融合"[N].光明日报,2012-12-27(016).
- [8] 何星亮.不断满足人民日益增长的美好生活需要[N].人民日报,2017-11-14(07).
- [9] 宋南平.营造良好的科学文化氛围[J].科学教育与博物馆,2020(1/2):1-3.
- [10] 国务院印发《全民科学素质行动规划纲要(2021-2035年)》[EB/OL].(2021-06-25)[2021-09-01].http://www.gov.cn/xinwen/2021-06/25/content_5620863.htm.
- [11] 朱海平.电视纪录片故事化的实践与探索[J].新闻记者,2009(01):70-73.
- [12] CNNIC:第48次《中国互联网络发展状况统计报告》[EB/OL].(2021-08-27)[2021-09-01].<http://www.199it.com/archives/1302651.html>.

Innovative exploration and consideration of video of exhibits in science center, from the perspective of science and culture integration: Take the documentary "Touch Science" as an example

Hao Qianqian

(China Science and Technology Museum, Beijing 100101, China)

Abstract: The video of exhibits in science center is an important form of audio-visual language expression that integrates science and technology with culture and art. This paper takes the documentary "Touch Science" as an example and makes innovative exploration from the aspects of fine topic selection, professional sub-work, multi-level communication, etc. from the perspective of integration of science and culture, and puts forward that brand building, content upgrading and collaborative communication should be further strengthened in video of exhibits in science centers.

Key words: science; culture; integration; video of exhibit

中国科学家国际组织任职履职能力研究

牛仲君¹, 郝 婕², 汪晨晨²

(1. 外交学院, 北京 100037; 2. 中国国际科技交流中心, 北京 100081)

摘 要: 国际科技组织作为国际科技合作的重要平台, 与科技外交的发展密不可分。作为国际科技组织运行的重要保障, 其任职人员不仅需要掌握专门的科技知识, 也需要了解国际合作, 尊重多样性, 具备跨文化交流能力、人文精神和社会责任感, 拥有组织规划、团队合作、客户意识、战略决策、赋权管理等工作技能。为进一步加强中国科学家的国际组织任职履职能力, 除了科学家个人努力外, 还需要国家通过培训、输送和工作环境支持来加以促进, 从而让更多科学家了解国际组织, 有机会参与国际组织活动和工作, 在学习和实践中提升国际组织任职履职能力, 改进中国国际科技组织任职人员不足的状况。

关键词: 国际科技组织, 科学家, 任职履职能力

20世纪以来, 国际政治的一大特点就是国际组织的迅猛发展, 两次世界大战的硝烟让各国人民认识到国际合作的重要性, 以联合国为代表的各种国际组织大量涌现, 其规模和速度远超从前, 扮演着越来越重要的角色, 成为调整国家间关系、推动国际政治向前发展的重要力量。而作为协调科技领域国际事务的国际科技组织, 更是在加强国家间科技合作, 提高科技工作成效, 引领科技发展前沿等方面发挥着重要作用, 成为各国科技交流和联系的纽带。现实中, 国际科技组织的运行往往依赖于各种任职人员, 大量的科技工作者通过在国际科技组织任职, 对国际科技组织的议程、项目、标准、规章、制度产生着一定的影响, 进而参与全球科技治理。因此, 从人才建设的角度去认识和了解国际科技组织, 加强中

国科学家国际组织任职履职能力, 不仅是我們进一步参与全球科技治理, 提高国际影响力的重要内容, 也是进一步深化改革开放, 提高中国国家实力和地位的重要途径。

1. 科技外交与国际科技合作

近代以来, 随着科学技术的进步, 特别是工业革命的出现, 国际合作的深度广度都出现了跨越式的发展, 逐渐产生了通过建立国际科技组织来加强科学家之间的互动交流, 推动科技创新发展的需求。如1603年在罗马成立的林琴科学院和1660年在伦敦成立的英国皇家学会, 就是早期国际科技组织的代表。英国皇家学会成立后, 为更好地加强科学家间的国际合作, 于1723年设立了外事秘书一职, 专门负责与各

作者简介: 牛仲君, 男, 博士, 副教授, 外交学院, 研究方向为国际组织与多边外交。

郝 婕, 女, 硕士, 中国国际科技交流中心国际组织工作处项目助理, 研究方向为国际组织。

汪晨晨, 女, 硕士, 中国国际科技交流中心国际组织工作处项目主管, 研究方向为国际组织。

项目来源: 中国科协创新战略研究院科研项目“新时代我国科学家国际组织任职履职能力研究”(项目编号: 2021-pgs-016)。

国科学家的定期通信,以了解最新科技动态。而到19世纪,西方的科技界出现了两个国际化:一是学术刊物录用论文的国际化,各国研究人员的重大科研成果都投递到一些比较权威的学术刊物上发表,通过这种手段与各国同行交流;二是一些重要科研项目参加人员的国际化,当时欧洲许多著名的实验室都聚集着来自世界各地的科学家和留学生,经常会有几个这样的实验室围绕同一个课题开展研究^[1]。但这些早期的国际科技合作,大多属于民间行为,缺少政府参与。

19世纪中叶以后,随着工业革命在世界范围内的扩展,各国之间的经济文化与科技交往日渐频繁,需要在国际层面制定统一标准以规范国际合作行为,因此各国间的技术性合作成为可能,导致了最早一批政府间国际组织——国际行政联盟的建立。当时的国际行政联盟涉及卫生、农业、关税、铁路、度量衡、商标、专利权、著作权等许多领域,代表性的有国际电报联盟(1865年)、万国邮政联盟(1874年)、国际度量衡组织(1875年)、国际保护工业产权联盟(1883年)、国际铁路货运联盟(1890年)等。这些国际组织促进了某一功能性领域统一规则的制定,推动了科技的发展和国际合作的展开。以国际电报联盟为例,1865年5月17日,法、德、俄、意、奥等20个欧洲国家在巴黎通过签订《国际电报公约》成立了该组织,一方面标志着国际电信领域统一规则的形成,同时也使电信领域的各国政府部门、私营机构和科学家有了国际交流的平台,1932年改名为国际电信联盟后,更是推进了电信领域国际合作的展开。由此可见,国际组织建立之初就与国际科技合作、标准规则制定密不可分,息息相关。

20世纪以来,随着科技革命和经济全球化的飞速发展,国家间的竞争日益转变为经济和科技实力的竞争,国际科技领域的竞争与合作成为国际政治的制高点。各国逐渐意识到,科学家之间的互动、科研成果的交流对于科技创新具有巨大

的推动作用,通过国际合作来加强科学问题研究、破解科学技术难题、加深重点科学项目合作成为普遍的共识。一方面,随着联合国等大量国际组织的建立和推动,多边国际科技合作获得蓬勃发展。根据国际协会联盟的统计,截止到2021年,各种类型的国际组织总数已达75277个,与科技相关的理工农医交叉学科类国际科技组织有10602个^[2]。即使不是专门的科技组织,其运行也往往依赖科技的推动,使科技意识成为提高国际组织工作效率的核心能力。另一方面,科技对国家的发展越发重要,科技外交备受重视,各国都在不断出台科技外交战略,以期在新的科技革命面前占领先机,引领经济发展,增强国家实力。

应当看到,科技外交与国际科技合作是两个既有联系又有区别的概念。科技外交是科技与外交的融合,着眼于科技合作对一国发展的促进作用及外交目标的实现,带有较强的国家战略色彩。科技外交可包括三方面的含义:“外交中的科技”,提供科技建议以帮助实现外交目标;“为了科技的科技”,通过外交手段促进国际科技合作;“为了外交的科技”,通过科技合作增进国家间关系^[3]。而国际科技合作则是一个广义的概念,是指国家、国际科技组织、法人与自然人为追求共同的科技利益,实现利益共享(包括从共同利益中分享各自的利益),通过相互协调,在生产和流通领域促使各种生产要素优化组合与合理配置,以共同和分工的工作形式进行科技活动^[4]。国际科技合作既可以是国家推进国际交往的科技外交形式,也可以是以科技发展或商业为导向,由个人或团体推动的民间合作行为。

进入21世纪后,随着全球治理的发展,国际多边合作开始由传统的多边主义1.0升级为新的多边主义2.0,国际多边科技合作与科技外交的边界也日渐模糊,有不断融合的趋势。传统的多边主义1.0是指国家间通过制度化的合作以替代国际社会的无政府状态,国家的外交行为在其中发挥着关键作用。而多边主义2.0则更重视非国家行为体的国际合作功能,强调在国家行为之外,非政府

组织、企业和个人都可以发挥国际合作的功能，相较封闭性、等级化的多边主义1.0更具有网络化特点^[5]。例如全球气候变化合作，虽然最终的政策谈判权掌握在主权国家手中，但具体议题和解决方案很大程度上受跨国公司、非政府组织等非国家行为体影响。科学家的科研成果，也有可能通过国际组织的推动，成为新的国际议题，进而影响国际标准的制定。在新的多边主义2.0中，科学家的国际科技合作，不再是单纯的民间合作行为，有可能会通过国际科技组织的规则制定，成为影响全球科技治理的国际标准，并反过来影响国家的外交政策。从这个角度来说，随着国际组织的发展，多边主义2.0的推进，国际多边科技合作和科技外交的趋同化趋势明显，科学家很难绕开外交因素而独立开展国际科技合作。

2. 国际科技组织与任职人员

当今世界，随着信息技术的发展和全球化进程的加快，国际组织的数量剧增，涵盖了政治、经济、社会、科技、文化、体育、卫生、教育、环境、人口等各种关乎人类生存和发展的领域，成为影响世界局势的重要力量。而随着各种国际组织的不断发展壮大，其任职人员数量也在急剧扩张。以联合国为例，根据秘书长报告，截至2020年底，联合国秘书处有国际职员36827人，分布在日内瓦、维也纳、内罗毕、曼谷等世界各地的联合国办公机构，但中国籍职员仅545人，占比1.48%^[6]。这些任职人员是国际组织工作的组织者和实施者，他们活跃于世界舞台，发挥着重要作用。因此，一国拥有的国际组织任职人员数量及质量在一定程度上也是该国国际影响力和贡献度的体现，是国家“软实力”的重要内容。

由于科技领域的专业性特点，科技工作者对于国际科技组织的运行至关重要。这是因为科技政策和科技外交活动必须同科技发展规律相适应，才能更好地服务于科技进步和社会发展，否则就会脱离实际。各国政府和国际组织在制定多边政策时迫切需要科技建言，以了解面临的问题

和挑战，从而起草有效的科技政策，探索创新解决方案等问题。正如科学的奠基人贝尔纳早在1939年指出的那样：“无论是政治家还是他们背后的势力本身都无法充分理解或者明白如何发挥科学的潜力，必须由某些对科学和政治都具备充沛知识、能把二者结合起来的科学家来协助他们。^[7]”在全球化不断发展、科技创新日新月异的今天，科学家很难通过闭门造车来实现科技突破，只能通过加强互动交流与科技成果的共享，开展国际科技项目合作以及科技政策沟通来完成。新时代的科学家必须要了解国际政治与外交的相关知识技能，才能更好地开展国际合作以促进科学研究的发展。国际科技组织作为国际科技合作与全球科技治理的主体，为各国科学家提供了开展国际合作、了解科技发展动态、提升国际交往能力的平台，自然成为广大科技工作者开展国际交往的主要途径。如今，各国科技工作者大多有强烈意愿参与国际科技组织的活动，以期通过合作来促进自身的科学研究和国际影响。

从组织结构上来说，不管是政府间国际组织还是国际非政府组织，国际科技组织至少由三个层次的机构组成：①议事与决策机构，即大会或全体会议，属于最高权力机关，由成员代表组成，负责讨论和处理国际组织职责范围内的重要问题，如制定方针政策、选举执行机构成员和秘书处的行政长官、通过报告和预算等；②执行机构，一般称为执行局、执委会或理事会，往往由议事与决策机构推举少数代表组成，负责执行最高权力机关的决议，提出建议、计划和工作方案并付诸实施；③行政与管理机构，即秘书处，是国际组织行政和管理工作的核心，具有财政、会务、调研、技术、情报、调解纠纷、对外代表本组织等多方面的职能。除此之外，有些国际组织还有专门的司法机构和辅助机构。而国际科技组织的任职人员则散布于国际组织的各机构之中，负责管理和保障国际组织职能的履行，以服务成员，促进共同利益的实现。

对于科技工作者来说，根据参与机构和职责

的不同,可以成为三类国际组织任职人员:①国际职员,即隶属于国际组织秘书处的专职工作人员,一般通过任命、竞聘或招聘等方式录用,履行行政和管理职责。而拥有专业知识的科技工作者往往能成为其中负责科技事务的管理人员或实施科技合作项目的专业技术人员。②国际科技组织领导人员,一般是指通过竞选产生并担任国际科技组织大会或执委会的主席、副主席、执委等职务,有权参与国际科技组织讨论和决策的核心领导层人员。担任领导人员的科学家大多来自各国科技部门领导、相关学会、协会的负责人或学科带头人,在大会或执委会开会期间履行职责,代表本国或民间机构参与国际组织的活动,往往不常驻国际组织也不影响其本职工作。③外部技术专家或咨询顾问,一般由某一特定领域的公认权威专家担任,由国际组织以专家或顾问的身份聘用。科学家担任国际组织专家或顾问,主要是通过自己掌握的科技知识,为执行特定的科技任务或工作提供专门技能或知识,通常包括分析问题、指导讨论会或培训班、为各种会议编制文件或就其专门科技领域内的事项撰写报告等。这些任务或工作的性质往往是短期的,可能涉及与国际职员类似的全职或兼职工作。

3. 国际科技组织任职履职能力要求

国际组织作为各国人民交流与合作的平台,具有很强的国际性与多元化特点。国际组织的工作人员来自不同的国家,具有不同的背景和经历,会出现不同的文化和价值观碰撞,这既是国际组织发展的优势,也是其面临的挑战。如何将各国精英汇聚其中,并能在多元文化的基础上提高效率,确保国际组织职能的履行,就成了国际组织人力建设的核心内容。自第二次世界大战以来,随着联合国等国际组织的发展,国际职员数量的增多,各个国际组织开始加强人力资源管理,尝试探索符合国际组织需求,适应全球合作发展的任职履职标准。经过几十年的发展,以联合国为代表的国际组织逐渐以“全球胜任力”

为基础,形成了一套相对完善的国际组织核心能力框架,作为对聘用职员进行工作表现评估和绩效考核的重要指标。虽然国际科技组织的数量众多,类型多样,但是在运行方式和人力资源管理上,与其他领域国际组织和跨国公司有众多相似之处,因此本文试图通过参考和比较“全球人才”“全球胜任力”及联合国胜任能力框架,总结出适合绝大多数国际科技组织的任职履职能力要求。

国际科技组织的工作人员首先要符合“全球人才”的能力要求。随着全球化的深入发展,在跨国公司和国际组织中工作的人员,必然要面对不同语言、文化和价值观的挑战,因此适应全球化发展的“全球人才”概念应运而生。按照日本文部省的定义,全球人才指在全球化发展的世界中,面对不同背景的同事和客户,能够尊重历史、文化、价值观的差异,站在对方的立场上相互理解,并提取彼此的优势,产生新价值的人才。全球人才首先要具备语言交流和理解不同文化的能力,以及主体性·积极性、挑战精神、协调性·灵活性、责任感·使命感等素质,还要有广博的学识、精深的专业知识、发现问题解决问题的能力、团队协作、领导力、社会责任等,并可按照能力要求分成不同的层次水平^[8]。“全球人才”更多是从适应全球化发展的角度强调跨国交流能力,既重视尊重多元文化下的语言交流能力,也提出了知识、技能、管理、责任等素质要求,是国际科技组织任职履职能力的重要参考。

国际科技组织的任职履职能力也是一种“全球胜任力”。“全球胜任力”这一概念最早由美国国际教育交流学会于1988年提出,并逐渐发展成以批判性思维和问题解决能力、沟通技能、合作技能、创造力和创新技能(简称“4C”)为核心的21世纪技能^[9]。2018年,经济合作与发展组织(简称“经合组织”)发表了《PISA全球素养框架》的报告,较为系统地提出了“全球胜任力框架”。该报告认为全球胜任力可分为知识、认知技能、社会技能和态度、价值等四个维度,是指

在尊重人性尊严的前提下,个人拥有从多元角度对地区、全球和跨文化议题的分析能力,对他人观点和世界观的理解欣赏能力,与不同文化背景的人进行开放、得体和有效互动的能力,以及为集体福祉和可持续发展采取行动的能力^[10]。根据经合组织的界定,全球胜任力就是一种更好地胜任全球范围内多种职务,适应全球生存和发展的能力或素养,强调世界的包容性与可持续发展,不仅重视对全球性问题和多元文化的理解和行动能力,也强调对人性和文化多样性的尊重,要求形成对不同文化背景人的尊重和全球化思维,鼓励跨文化的敏感性、尊重和赞赏等。这对科学家参与国际科技组织,开展跨国科技合作,处理多元文化冲突有着很强的指导意义。

联合国作为世界上最具普遍性和代表性的国际组织,是加强国际合作、解决全球性问题的主要多边平台,十分重视对工作人员任职履职能力的研究,以期指导招聘和考核工作,使各级工作人员都具有相应的胜任能力。2010年,联合国人力资源管理厅发布了《联合国能力开发——实用指南》(简称《指南》)一书,归纳出国际公务员应该具备的3项核心价值观、8项核心能力和6项管理能力,它们集技能、品性和行为于一体。《指南》按照三个不同的级别(一般工作人员、中级管理人员、高级管理人员)对工作人员提出了不同的要求,为他们制定了有差异的衡量践行核心价值、核心能力的行为特征描述,并拟定了具体的、具备可操作性的衡量和评价指标,成为联合国聘用员工、帮助员工发展、促进组织文化发展等方面的重要评估依据^[11]。该能力框架的特点在于将工作

人员按照一般工作人员和管理人员进行划分,强调了价值观、能力与行为特征的相互关系,并通过具体可操作的指标使其具有实用性。

近年来,联合国的人事工作仍然面临一系列的问题,如征聘工作速度缓慢,很多人力资源流程集中、僵化、繁琐,政策没有充分适应实地情况等,使得秘书处无法对新出现的需求迅速做出反应。如何在合适的时间和地点找到具有合适技能的人员,提升秘书处的行动力和工作效率,已成为联合国秘书处的一项重要挑战。为此,通过对近4500名工作人员的调查研究,2020年10月,秘书处发布《联合国价值观和行为框架》(简称《框架》),并从2021年起开始在秘书处试行,希望成为未来十年联合国系统员工队伍规划、征聘、学习和业绩管理等各种人力资源流程的新依据。该《框架》确立了四大价值观(诚信、包容、谦虚、人性)和五项行为要求(联系与协作、分析与计划、提供产生积极影响的成果、学习与发展、适应与创新)^[13]。同之前的胜任力框架相比,新的《框架》更为简洁,重视国际职员的个人品性和工作能力,不再区分核心能力与管理能力,并将原来的“专业”核心价值改为“谦虚”和“人性”,体现了工作环境可持续性、加强人员流动、尊重文化多样性等人事改革举措的新要求。

通过上述国际科技组织任职履职能力分析可知,科学家在国际组织中工作,不仅需要具备前沿的科技知识,还需要在知识、技能和价值观等方面具备国际组织的任职履职能力,以适应国际组织多样性的挑战,能够与不同文化、价值观的人员共事,用自己的专业知识服务于国际组织的

表1 联合国胜任能力框架表^[12]

核心价值观		核心能力		管理能力	
诚信	交流沟通	团队合作	计划组织	战略视野	领导力
专业	责任担当	客户导向	创新能力	赋权增能	绩效管理
尊重多样性	技术意识	持续学习		建立信任	判断决策

成员,并履行自己的社会责任,扩大国际影响。具体来说,对于在国际组织秘书处工作的科技人员,除了掌握专业的科技知识和跨文化交流能力外,还需要有组织规划、团队合作、客户意识、战略决策等技能,具备谦虚诚信的品质、专业奉献的精神、尊重多样文化等价值观,以适应具体的国际组织工作。对于担任国际科技组织领导人员的科学家来说,需要有丰富的管理经历和较强的人脉关系,熟悉该领域国际科技合作的前沿知识和发展方向,拥有创新精神、战略视野、管理能力、判断决策等领导能力,了解国际交往方式和外交技能,具备个人魅力和全球意识,能够代表本国和世界引领全球科技治理的潮流。而对于担任国际组织专家或顾问的科学家来说,主要是掌握最前沿的科技知识,能够为国际组织的科技政策和项目实施提供有用的咨询服务。

4. 加强中国科学家国际组织任职履职能力的建议

近年来,随着中国实力和地位的上升,在国际科技组织中任职人员不足的状况日益突出。截至2020年底,中国科协及其所属全国学会共加入372个国际科技组织,其中中国科协加入7个国际组织,144家全国学会加入365个国际组织(含不同学会加入同一国际组织15个)。经中国科协推送,在上述组织中任执委以上职务380人次,比2019年增加21人次。其中副主席及以上级别任职135人次,执委级别任职245人次¹。这说明我们在高端人才推送方面取得了较大成就,为进一步加强国际科技组织人才队伍建设打下了坚实的基础。但是由于科学家任职履职能力的欠缺和配套政策的不完善,我们的国际科技组织人才队伍建设仍存在很多问题,如在国际科技组织秘书处工作的人员不足,国际科技组织培训缺少针对性,在华落户的国际科技组织总部较少,国际科技组

织任职人员的激励机制和服务保障机制不完善等,一定程度上限制了我国参与全球科技治理的步伐。因此迫切需要提升中国科学家的国际组织任职履职能力,以增加国际科技组织任职人员的数量与质量,推动更广泛、更高水平地参与国际科技组织决策和管理。而国际科技组织任职履职能力的提升,既需要科学家在日常学习和工作中有意识的锻炼,也需要相关部门通过培训、选送和政策支持来加强培养,以使更多中国科学家具备国际组织任职履职能力,增强中国在国际科技组织中的规则制定权、议程设置权和国际影响力。

第一,加强有针对性的分层分类培训,打造一支政治过硬、业务能力强、综合素质高的国际科技组织人才队伍。要针对不同国际科技组织的共性与特性,对领导人员、秘书处职员、竞聘人员和后备人才开展分层分类培训,加强对国际科技组织的研究和师资队伍建设,特别是加强对国际顶尖实验室人才培养机制和国际通行标准运作体系的调查研究,推动人才政策创新突破,塑造更加充满活力的制度体系和人才发展生态环境。在培训中除了提高外语沟通能力外,还需要加强政治、社会、经济、历史、国际组织、国际关系、外交等方面的知识,并通过模拟国际组织活动,在教学中融入国际科技组织所需要的个性、技能、价值观等要素,以使科学家了解国际科技合作发展的趋势,具备国际视野,掌握有效沟通、团队协作和领导力等工作技能,从而提升相关培训的国际化程度、国际化意识和国际组织工作适应性。通过对不同层次科学家的分层分类培训,还可以帮助科技人员制定职业拓展规划,让更多有志于国际科技组织工作的科学家了解国际科技合作和竞聘流程,加强有针对性的竞聘指导,以增加入职几率。因此,加强有针对性的分层分类培训,是提升中国科学家国际组织任职履

¹ 中国国际科技交流中心国际组织处统计数据。

职能力的重要方式,且需要循序渐进,稳步提高科学家的任职履职能力。

第二,建设多渠道的国际科技组织岗位推送机制,统筹加强国际组织中任职梯队和团队建设,以不断增加我国国际科技组织任职人员的数量与质量。科学家国际组织任职履职能力的提高,更多需要通过参与国际科技组织的具体工作来实现。为此,中国科协等部门需要系统梳理和分析国际科技组织任职及职位空缺情况,明确中国科学家在国际科技组织各级岗位任职的人才梯队目标,加大与国际科技组织在会议、项目、资金方面的合作力度,加强信息推送和竞聘支持力度,将国际科技组织的招聘信息发送给符合条件的人员,鼓励中国人竞聘国际科技组织秘书处的相关职位,规范加入国际组织及任职人员信息报备制度,逐步建设完善人才数据库,实时掌握并更新国际组织人员信息和任职动态,以增加我国在国际科技组织中的任职人数。同时引入政府出资派人赴国际组织工作的JPO机制¹,由我国出资,选派中国的优秀科技工作者赴国际科技组织工作,以增加国际组织的工作经验,提升任职履职能力,为正式入职创造条件。

第三,加大支持力度,对已任职专家提供政策、经费、技术等方面的服务,帮助其继续提高任职履职能力,积极参与全球科技治理。国家应继续提供政策咨询、研究分析、技术支持等服务,支持任职专家对国际科技组织重要议题的研究讨论,组织国内有关专家参与编写国际组织重要议题的相关文件,以提升中国科学家的国际组织议题设置能力。需要重点加强对国际科技组织重要职位竞选的统筹、指导和支持,建立国际科技组织任职奖励机制。资助专家及其团队履职工作经费,资助缴纳国际组织会费、特殊会费。在政策、资金、人员等方面帮助现有国际科技组织人员站稳脚跟,扩大影响,以期巩固地位和竞争

更高职位。同时继续开展科技外交,做好竞聘服务,帮助更多中国科技工作者去竞争新的执委以上职务,以扩大中国在现有和新加入国际科技组织的影响力。

第四,加速推进国际科技组织及其分支机构在华落地,打造国际科技组织落户中国先行试验区,以近距离提升中国科学家的国际组织任职履职能力。要从国家层面综合考虑国际科技组织发展战略和路径等顶层设计,完善相关法律法规和组织框架,制定国际科技组织落户的优惠保障政策,为国际组织在华落户创造更加开放、包容的环境。为此需借鉴纽约、日内瓦、曼谷等城市的经验,在北京、上海、杭州、深圳等地区打造国际科技组织总部集聚区、试验区,加速推进国际科技组织及其分支机构在华落地,搭建国际民间科技交流全球伙伴关系合作平台。要积极引导国际科技组织来华登记并设立总部或分支机构,资助支持国际科学计划项目办公室工作,持续支持城市健康和人类福祉计划国际办公室、灾害风险综合研究计划国际办公室的工作,为国际科技组织开展活动提供良好条件。为我国科学家参与国际科技组织建设和相关活动创造更多机会,近距离提升我国科学家国际组织任职履职能力,为参与更多更大的国际科技组织工作打好基础。

责任编辑:刘香钰 校对:李琦 刘香钰

参考文献

- [1] 朱进宁.我国民间科技组织在国际科技合作中的作用[J].学会.2006(6). 27.
- [2] Union of International Associations. Yearbook of International Organizations 2022/2023 [EB/OL]. (2022-07-01) [2022-08-20]. <https://uia.org/yearbook>.
- [3] The Royal Society and AAAS. New frontiers in science diplomacy. London. 2010. 5-6.
- [4] 赵刚.科技外交的理论实践[M].北京:时事出

¹ JPO是初级专业官员Junior Professional Officer的简称,JPO机制是指由本国政府出资,通过合作协议,资助青年赴国际组织担任初级专业官员(P1-P3)的制度,是各国政府向国际组织推送青年职员的重要形式,也是联合国系统重要的人才选拔项目。

版社, 2007.

[5] Luk Van Langenhove. Who cares? Science diplomacy and the global commons[J]. Australian Quarterly, 2019, 90(4): 22.

[6] 联合国秘书长的报告A/76/570."秘书处的组成: 工作人员统计数据"[EB/OL]. (2021-11-29) [2022-07-18]. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N21/359/86/PDF/N2135986.pdf>.

[7] 贝尔纳.科学的社会功能[M].北京:商务印书馆, 1995.

[8] 日本文部省.「グローバル人材の育成について」[EB/OL]. (2012-02-14)[2022-08-08]. https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/047/siryo/_icsFiles/afieldfile/2012/02/14/1316067_01.pdf.

[9] Education ACO. Educating for Global Competence: America's Passport to the Future. Washington. 1998. 17.

[10] OECD. PISA Preparing our youth for an inclusive and sustainable world. The OECD PISA global competence framework. 2018. 7-11.

[11] United Nations, office of Human Resources Management. UN Competency Development—A Practical Guide. United Nations, 2010. 5-8.

[12] United Nations, office of Human Resources Management. UN Competency Development—A Practical Guide. United Nations, 2010. 5-6.

[13] United Nations, office of Human Resources Management. Values and Behaviours. United Nations, 2020. 3-7.

Research on the competency of Chinese scientists to perform their duties in international organizations

Niu Zhongjun, Hao Jie, Wang Chenchun

(China Foreign Affairs University, Beijing 100037, China;

China Centre for International Science and Technology Exchange, Beijing 100081, China)

Abstract: As an important platform for international science and technology cooperation, international scientific and technological organizations are inseparable from the development of science and technology diplomacy. Regarded as a key safeguard for the operation of international scientific and technological organizations, the staff of the international scientific and technological organizations are required not only to master specialized knowledge on science and technology, but also to have a deep understanding of international cooperation and the respect for diversity. They need to be equipped with cross-cultural communication ability, humanistic spirit and social responsibility, as well as certain work skills such as organizational planning, team cooperation, customer awareness, strategic decision-making and empowerment management. Besides individual efforts, our country also needs to provide support in professional training, appointment recommendation and work environment to improve the competency of Chinese scientists to perform their duties in international organizations. In that way, more scientists can further understand international organizations, participate in activities and work of international organizations, and improve their competency to perform their duties in international organizations through learning and practice, in order to improve the shortage of Chinese staff in international scientific and technological organizations.

Key words: international scientific and technological organizations; scientists; the competency of scientists to perform their duties in international organizations

科技社团在公共政策中的角色

——对美国电气与电子工程师学会（IEEE-USA）的案例研究

樊春良^{1,2}, 樊天^{1,2}, 杨佳^{1,2}

(1. 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190; 2. 中国科学院大学公共政策与管理学院, 北京 100149)

摘要: 科技社团在公共政策中起着重要的作用。本文探讨美国电气与电子工程师学会（IEEE-USA）在公共政策中扮演的角色，提出了科技社团在公共政策中角色的分析框架，采取文献分析法，主要根据IEEE-USA的战略计划、年报和官网以及相关论文，对IEEE-USA的公共政策使命、组织设置、措施以及开展的活动做了探讨，总结了其成功经验。从提升和明确地位、加强参与、加强自身能力建设以及加强与相应领域政府部门之间的联系等四个方面，提出了对我国科技社团参与公共政策的建议。

关键词: 科技社团，公共政策，公共政策组织，美国电气与电子工程师协会

随着科学技术对经济和社会发展的影响不断深入，科学技术在公共政策中的地位和作用日益凸显，不仅科学技术自身发展的议题在公共政策中占有重要的地位，而且在诸如气候变化、传染疾病防治、环境保护等其他重要公共政策议题中，科学技术的分量也日益提升，因此，提升科学技术在公共政策中应发挥的作用成为科技界的一个重要使命。科技社团，作为科学家和工程师的团体，通过汇聚广大科技工作者的智慧，在公共政策的制定与实施中可以发挥独特而重要的作用。

我国科技社团在参与公共政策活动方面，经历了“科技自身发展”到“科技促进经济发展”再到“创新驱动全面发展”三个阶段，在服务党和国家宏观决策、面向部门和区域提供规划建

议、面向学科和行业提出发展规划和提供立法咨询意见等方面做出了突出贡献^[1]。但是，还存在一些需要解决的问题：科技社团参与决策咨询活动的积极性还不够高，科技社团参与决策咨询的能力和水平仍需进一步提高。世界上各主要国家的科技社团如英国皇家学会、美国科学促进会都在国家的公共政策中发挥着重要的作用。国外的经验可以为我国科技社团在公共政策中发挥更好的作用提供参考和借鉴。

国内学术界对科技社团在公共政策中的作用主要开展了几个方面的研究：①理论研究，主要有对科技社团参与新时代公共政策活动模式的探讨^[1]，对科技社团参与决策咨询途径的研究概述^[2]，科技社团参与决策咨询的模式^[3]，科技社团参加决策咨询的SWOT分析^[4]；②国外科技

作者简介: 樊春良，男，博士，研究员、教授，中国科学院科技战略咨询研究院、中国科学院公共政策与管理学院，博士生导师，研究方向为科技政策、科学与社会。

樊天，女，硕士，中国科学院科技战略咨询研究院博士研究生，研究方向为科技政策。

杨佳，女，硕士，中国科学院科技战略咨询研究院博士研究生，研究方向为科技政策。

项目来源: 中国科协创新战略研究院科研项目：新形势下美英日科技政策研究（项目编号：2021-pgs-010）。

社团在决策咨询中的作用, 包括对美国科学促进会在公共政策中的作用和影响公共政策的机制^[5]、美国物理学会开展政策咨询的研究^[6]、英国科技社团参与决策咨询的功能、方式和特点分析^[7]; ③中国科技社团在决策咨询中的作用, 包括我国科技社团参与决策咨询的性质、组织形式及活动方式^[8], 案例研究^[9], 问卷调查^[10]等。现有的研究为进一步深入认识科技社团在公共政策中的作用提供了基础, 但关于科技社团在公共政策中发挥作用的案例研究尚不足, 需要加强。

本文根据科学技术在公共政策中发挥作用的思想和分析框架, 对电气与电子工程师学会 (IEEE) 的一个主要组织单位——美国电气与电子工程师学会 (IEEE-USA) 在公共政策中的角色进行案例研究, 分析IEEE-USA的公共政策使命、组织、措施和成效, 并提出可借鉴之处。

1. 基本概念与分析框架

1.1 公共政策

公共政策是国家 (政府)、执政党及其他政治团体在特定时期为实现一定的社会、政治、经济和文化目标所采取的政治行动或所规定的行为准则^[11]。简要地说, 公共政策就是政府选择做什么事情而不做什么事情^[12], 是公共官员为解决公众关心的议题提供最佳方案而形成决策的结果。在当今社会, 公共政策的范围几乎包括国家社会和经济生活的各个领域。

公共政策过程通常包括议程设定、政策决策、政策执行和政策评估等几个主要阶段。公共政策涉及国家和公共利益以及相关主体的利益, 需要不同主体参与。公共政策的主要参与角色有: 决策者、利益相关者、政策研究者、公民和大众媒体^[13]。

1.2 科学家与公共政策

科学技术在公共政策中的地位表现在两个方

面: 一是科学技术成为公共政策中越来越重要的议题; 二是科学技术要素在许多其他公共政策议题中占有重要的位置, 如能源、环境、交通等政策议题。

在科技政策及含有科技政策要素的公共政策中, 科学家是重要的行为主体。科学家在公共政策中基本角色是表达思想观点和建议, 为决策提供科学信息和证据。皮尔克 (R.A.Pielke Jr) 把科学家在公共政策中的角色分为四类: 第一种是纯粹的科学家, 他们不提供论断, 而是提出一些有关的基本信息。第二种是科学的仲裁者, 他们服务于决策, 随时准备回答决策者提出的各种实际问题, 但并不提出自己偏向的选择。第三种是观点的辩护者, 他们通过提出某种选择为何优于其他选择的理由, 从而试图影响决策。第四种则是政策选择的诚实的代理人, 他们努力拓展或阐明决策选择的范围, 提供政策方案, 使决策者可以根据自己的偏好和价值观去决策^[14]。科学家的角色贯穿于公共政策的全流程。

1.3 科技社团与公共政策

科技社团是科技工作者在学术研究和学术活动中形成的群众性的学术团体, 由科技工作者自愿组成的专业社会团体^[15]。科技社团是科学共同体的一种特殊组织形式, 具有3个主要特点: 一是成员拥有共同价值观和行为规范; 二是专业性, 成员在某一专业领域具有专业特长和技能; 三是相对自主性和独立性。依靠科学共同体的自我管理, 保证学术的公正性和社团的公信力、权威性。

科技社团又是一个社会组织, 具有明确的目标导向和精心设计的结构与有意识协调的活动系统, 同时又同外部环境保持密切联系。科技社团具有广泛的社会功能。当代科技社团主要具有以下五种社会功能, 即凝聚学术共同体, 提供专业服务; 促进科学技术研究, 引领科技创新; 开发专业技术标准, 实施专业认证; 扩散科技知识; 促进经济与社会发展^[16]。

科技社团在公共政策中起着重要的作用，不仅可以组织和动员团体中科学家个人参与公共政策的活动，而且可以发挥组织的特点，以科学共同体的价值立场和科学家群体智慧，在公共政策中发挥作用：以科学的立场和价值观影响公共政策议程的形成，以科学证据支撑政策的形成等。科技社团的专业性是科学咨询的保证。

1.4 科技社团在公共政策中角色的分析框架

科技社团影响公共政策的方式可以分为两个层面：组织层面、个人与小组层面。在组织层面，科技社团通过设定组织的公共政策角色目标、加强组织指导、设立专门公共政策计划和专业组织、建立与决策部门的组织联系和开展特定的活

动，来影响公共政策的制定和实施。在个人与小组层面，通过科学家和工程师个人与小组的行为，参与公众政策过程，提供科学信息、观点、政策和方案，在公共政策中发挥作用。两个层面的活动存在着有机的联系。与独立的科学家和小组参与公共政策不同，科技社团中个人与小组在公共政策中的作用受到社团的指导和组织制度与规范的制约。

科技社团参与公共政策包括几个方面内容：

- ①社团的公共政策角色目标、制度安排、组织设置；
- ②组织和个人参与公共政策的方式和行动；
- ③组织和个人与决策者的互动。分析框架如图1所示。

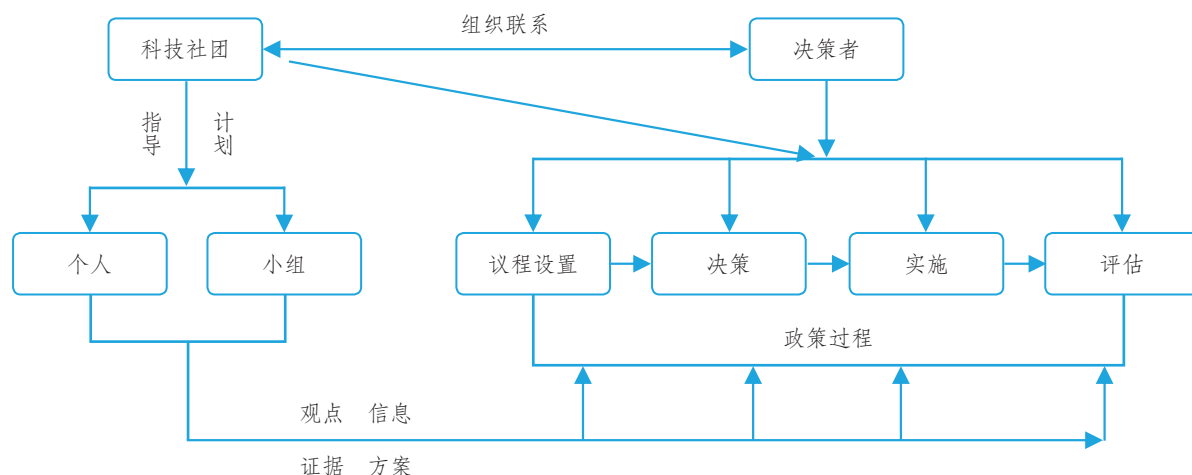


图1 科技社团在公共政策中角色的分析框架示意图

2. IEEE-USA在公共政策中的使命、组织和活动

IEEE-USA的一项重要使命是为公共政策服务；IEEE-USA设有专门的计划，在美国公共政策中扮演着重要的角色，截至2017年，IEEE-USA有17.5万会员^[17]。

20世纪70年代初，阿波罗登月取得成功之后，美国工程职业需求锐减、下岗裁员状况严重，美国工程师的活动家积极倡导成立美国工程师的职业团体，为保存美国工程专业技术的劳动力发声出力。在此背景下，IEEE-USA于1973年成立，其宗旨是支持IEEE美国成员的职业发展和公共政策利益。因此，IEEE-USA从成立一开

始便把其在公共政策中的角色放在重要位置。1973年，IEEE-USA建立华盛顿办公室，以促进IEEE会员与国会议员和政府行政机构间的交流，使决策者能够充分了解学会的技术资源，并确保IEEE-USA成员能够充分了解美国政府可能影响电气工程专业的各种政策与措施。当时的活动不仅包括与国会的联系，而且还与国家科学基金会、原子能委员会、联邦通信委员会、联邦电力委员会和技术评估办公室等机构合作。通过华盛顿办公室，IEEE-USA有越来越多的机会参与国家事务，在一些重要的科技立法和政策制定中发挥了重要的支持作用，如1976年通过的《科学技

术政策、组织和优先法案》，并不断扩大其在该领域的影响，在美国科技政策领域发挥着日益重要的作用^[18]。

IEEE-USA主席和董事会领导由会员选举产生，下设职业与成员服务部、交流与公众意识部、政府关系部和运行委员部等部门，每个部门由若干委员会组成。IEEE-USA总部设在华盛顿特区，由其专业人员以及IEEE成员志愿者支持运营。

2.1 为公共政策服务是IEEE-USA的一项核心使命

根据IEEE-USA最近期的战略计划，其使命是“为美国的会员、专业人士和公众提供有效的公共政策倡导以及职业和会员服务，塑造和培育技术创新和卓越精神，造福人类。”IEEE-USA一个主要任务是“推动塑造和保护技术增长和就业的公共政策议题^[17]”，由此可见，倡导有效的公共政策是IEEE-USA的一个核心使命。

IEEE-USA通过多种方式在美国公共政策过程中产生影响：在相关的科技政策领域游说，对美国政府发声；支持成员参与国家、区域和部门水平的政策讨论和政策决策；为政府决策者提供接触专家的机会，以确保在科技政策相关的决策中制定有根据的政策。

IEEE-USA在公共政策方面的各项计划和措施有三个目的：一是积极倡导新的法律法规，以加强工程专业，发挥技术在提高生活质量和国家生活水平方面的作用；二是让教育政策制定者了解基于技术的基础设施和劳动力的需求，以及新兴技术的潜在用途、限制和社会影响；三是就重要的公共政策问题向美国会员提供信息，并促使他们参与进来，帮助他们有效地为自己利益和专业需求发声^[19]。

2.2 IEEE-USA公共政策组织设置和人员计划

IEEE-USA通过其政府关系部的各个专门委员会，与联邦政府的立法、行政和司法部门合作，

在公共政策方面发挥作用，并设有专门的人员计划，与联邦政府保持组织联系。

2.2.1 IEEE-USA公共政策组织 IEEE-USA在政府关系部设有多个平行的公共政策委员会，有针对性地为政府具体领域公共政策的制定和实施服务^[20]。

政府研究员委员会，任务是发展和维持一个有效的政府研究员项目，运用IEEE-USA成员的知识和专长，为美国政府提供及时的建议和帮助，并协助培训IEEE-USA的会员和公众，帮助他们理解有关公共政策的技术问题。

研发政策委员会，任务是在IEEE的技术专长范围内发展和传播美国工程、国防研发政策和项目的立场。该委员会可以讨论除美国航空航天和能源研发领域研发政策以外的所有方面。在这些领域，IEEE-USA成员的工程知识和技能将做出建设性贡献。研发政策委员会可为政府部门和公众提出合理的意见。

创业政策和创新委员会，使命是维护电气、电子和计算机工程师以及相关信息技术专业人员的创业和创新政策利益，特别关注IEEE-USA会员的小型技术业务需求和美国技术劳动力的整体经济健康。活动范围包括直接影响作为IEEE-USA会员的企业家及其雇员的公共和私营部门的政策制定。

知识产权委员会，任务是促进对IEEE-USA会员（工程师、教师、科学家、发明家、技术工作者、企业家等）具有重要意义的知识产权议题，包括专利、商标和版权的保护；其涉及领域还包括快速移动技术、技术转让和美国竞争力与创新的知识产权问题。委员会准备立场陈述，起草法律，向美国最高法院提交法庭之友文件，并向美国国会和美国专利和商标局提交专家证词。

能源政策委员会，主要任务是针对美国政府各级立法和行政部门的能源相关活动，通过提供合理的、坚实的、技术的和专业的咨询，协助解决美国的能源问题。

人工智能政策委员会，任务是汇集在人工智能（AI）领域的各学科具有丰富经验和专业知识的IEEE-USA成员，以应对在这一重要新兴技术领域工作的科技共同体的公共政策需求。

美国运输和航空航天政策委员会，致力于制定影响美国航空、航天和地面运输技术的法律、法规和政策。其范围包括民用航空、智能交通系统、载人和无人太空探索计划以及相关通信、基础设施安全、遥感和隐私保护问题。

通讯政策委员会，促进制订与通讯技术有关的法律、条例和政策。委员会成员关注的问题包括频谱效率、高性能计算、无线射频识别（Radio Frequency Identification Device, RFID）、数字高分辨率系统、个人通信系统和隐私。

2.2.2 IEEE-USA与政府的人员联系机制——政府的研究员奖学金计划 政府的研究员奖学金计划（Government Fellowships）是一种重要的机制，使科学、技术和工程专业人员能够在向决策者传授知识和经验的同时，直接了解公共政策过程，与政府决策者合作，并向其提供建议。

当前，该计划主要由三类构成：国会研究员奖学金项目、国务院工程与外交研究员奖学金项目、美国国际发展署工程与国际发展研究员奖学金项目。每一年，IEEE-USA为合格的IEEE-USA

成员提供三到四个政府奖学金名额。由IEEE-USA政府研究员委员会遴选并经董事会确认的研究员，在华盛顿生活和工作一年，担任美国国会、美国国务院或美国国际开发署的顾问。

国会研究员制度是最早设立的计划，目标是：①促使IEEE-USA会员为公共政策过程做出实际贡献，促进美国政府更有效地利用科学和技术知识；②协助在科学界和工程界开展公共政策程序教育；③拓宽科学、工程和政府团体对这种互动价值的视野。自成立以来，已有100多名IEEE-USA会员在国会担任顾问，或作为参议员、众议员的私人工作人员，或作为由会员选择的国会委员会的专业工作人员^[22]。

2.3 IEEE- USA对公共政策倡导优先事项的指导

IEEE-USA董事会每年会列出一系列公共政策优先事项，作为向即将召开的国会会议政策倡导的重点。这些领域主要有研究与创新、人工智能、创业、能源、移民、知识产权、工程劳动力等。联邦研发拨款和其他与创新相关的立法，是IEEE-USA政策倡导的一个重点。IEEE-USA为组织和会员向117届国会第二次会议（2022年）政策倡导提出的各主要政策领域优先事项见表1，这些重点事项在很大程度上反映了当前美国科技政策及相关政策热点。

表1 IEEE-USA向117届国会第2届会议政策倡导的优先事项指导（2022）

优先政策领域	优先事项内容
研究与创新	· 增加联邦政府在国防和民用科学与工程研发方面的投资，包括大学研究和教育计划 · 提倡健全的研发政策，促进美国技术产业的创新 · 确保美国研发企业拥有最先进的设备、基础设施和管理，以支持在国家现有和新兴的重要领域的研究 · 敦促美国适当改变出口管制政策，包括被视为出口规则的政策
人工智能（AI）	· 促进在人工智能相关的领域发展一支高素质的人才队伍，以支持政府、工业界和学术界的需求 · 支持确保美国在人工智能领域的领导地位和持续竞争力所需的研发 · 提供有效的人工智能监管，以确保公共福祉，同时培育强劲的人工智能产业 · 确保与隐私权有关的使用标准，防止在使用和实施人工智能时出现偏见 · 促进公众了解人工智能的收益和风险

表1 IEEE-USA向117届国会第2届会议政策倡导的优先事项指导 (2022)

(续表)

优先政策领域	优先事项内容
创业	· 扩大中小型技术企业的参与; 提倡支持小企业技术发展的政府政策 · 支持稳健和管理良好的中小企业创新计划/中小企业技术转移计划 (SBIR/STTR) · 通过与IEEE和外部组织的合作, 提高会员接触小型技术企业资源的机会
能源	· 促进经济性的发电、输电和利用, 确保可靠和具有成本效益的电力供应, 以保持美国的竞争力, 并促进经济增长 · 通过改进设施和开发提高电网弹性并提供可靠电能所需的新技术, 发展可靠和智能的电网基础设施 · 通过实施抗篡改和弹性技术来对抗直接的实体或网络攻击, 通过降低风险和管理符合国家利益的能源系统弹性, 提高关键能源基础设施安全 · 促进负责任的环境管理, 保护美国的资源, 为了后代, 增加对环境无害能源的使用和可持续的能源供应 · 使交通运输领域能源来源多样化, 增加交通运输系统, 提高能源效率, 减少排放 · 减少工程解决方案的制度障碍, 包括跨司法和信息架构边界操作所需的技术 · 培养一支具有设计、规划、建设、操作和维护现代能源输送系统所需知识和技能的技术工程和贸易队伍
移民	· 增加以就业为基础的永久签证 (EB) · 简化科学、技术、工程和数学 (STEM) 相关的移民许可流程 · 促进在STEM领域拥有美国高级学位的外国公民转换为合法永久居民身份 (绿卡) · 改革H-1B和L临时工作签证项目; 加快办理短期游客签证
知识产权	· 确保知识产权法律法规支持企业开发、商业化和发明创新许可 · 明确和提倡在计算机软件、商业方法和诊断方法中包含符合版权和专利条件的主题 · 促进保护除专利和版权外的专有权, 包括设计权和数据专有权 · 鼓励美国专利商标局 (USPTO) 开展提高专利审查质量和减少未决案件的行动, 以保护发明者和公众的权利
工程劳动力	· 为技术专业人员提出新的持续教育奖励措施, 以维持他们的核心能力和竞争力 · 支持税收和其他激励措施, 以重新培训工程师和已被取代的熟练高技术工人 · 制定立法, 使商业协会和专业协会能够为会员及其家庭提供负担得起的国家健康保险计划 · 支持改变联邦健康保险和基于雇主的健康福利税收待遇 · 促进K-12、职业和高等教育的改善, 以鼓励STEM职业选择
5G、互联网、通信和其他网络	· 面对日益增长的数字数据收集, 保护所有用户的个人隐私 · 确保普及和负担得起的高速宽带网络; 促进设施、服务和内容方面的竞争 · 促进创新、新应用和互联网新用途 · 促进教育和立法, 促进用户、企业和国家基础设施的网络安全
运输和航空航天	· 使用通信、导航、监控和空中交通管理自动化技术, 对国家航空系统升级和现代化—— · 推广智能交通系统使用, 提高交通安全; 优化交通流量, 缓解拥堵, 减少温室气体排放、能源使用和基础设施需求 · 推进以技术为重点的, 平衡探索、科学、国家安全和国际伙伴关系的国家太空计划 · 倡导控制、保障和标准的发展, 建立网络安全和在所有运输系统中的安全, 提高港口和航空安全 · 通过技术政策解决自主控制系统的安全性和有效性来推进无人机商业化

来源: <https://ieeusa.org/public-policy/priorities/>.

2.4 影响政府的政策议程

IEEE-USA通过政策立场声明影响政府政策议程的设置。这些立场声明针对重要领域特定的政策议题，为美国国会、行政部门官员、司法机构、州和地方政府代表以及其他感兴趣的团体和个人等提供具体的公共政策建议。所有IEEE-USA的立场声明首先由IEEE-USA志愿者委员会发起和评议，这些委员会由在该领域具有专业知识的IEEE-USA成员组成，包括IEEE技术协会、分部、地区和分会的联络代表。在委员会批准后，提议的立场声明将由负责政府关系的副主席和IEEE-USA政府关系理事会进行审查，并经过通讯评议，最后提交给IEEE-USA董事会审议。

表2是2018—2021年期间IEEE-USA在航空、空间与运输、人工智能、信息与通讯技术、教育和培训、能源与环境、工程劳动力、安全与隐私、知识产权以及研究与创新等领域的政策立场声明题目。这些政策立场声明通常指出这一议题的重要意义，并提出具体的建议。例如，关于“商用太空飞行”的政策声明，由交通和太空政策委员会提出。立场声明

称，IEEE-USA认为商业太空公司可以在美国太空计划中发挥积极作用。国家宇航局（NASA）应该欢迎商业航天工业，并采取行动，通过法规和规则，允许私营航天公司蓬勃发展。声明指出，私营公司已经在NASA的几项任务中发挥了关键作用，不仅为NASA节省了时间和金钱，而且还加速了政府研究人员向私营部门的技术转让，从而使商业太空公司和公众都能使用这些技术。美国宇航局和私营部门之间的健康伙伴关系有望给美国的太空计划带来革命性的变革。声明强调，这种伙伴关系需要开明的公共政策才能蓬勃发展。声明提出了具体的政策建议^[22]。又如，关于“电动交通工具”的立场声明，由美国能源委员提出。声明指出，美国交通运输所用的能源90%来自石油，占美国所有石油消耗的70%。扩展电力在交通中的使用对于保障能源安全具有重要的意义：电气化交通可以增加能源的有效性，减少污染；适当的市场信号将加速进展。立场声明从效率和布局、电池充电基础设施、电池研发和充电器技术研发等各方面，对政府和私营部门制定电动汽车的发展战略提出了建议^[23]。

表2 IEEE-USA的政策立场声明（2018—2021年）

序号	领域	立场声明
1	航空、空间与运输	商业太空飞行（2021年11月） 电气化运输（2021年11月）
2	人工智能	人工智能:工作、教育、劳动力和多样性（2021年11月） 人工智能中的隐私、公平和正义（2021年11月） 人工智能的民主使用（2021年11月） 人工智能的有效治理（2021年6月） 人工智能:通过建立信任加速包容性创新（2020年7月）
3	信息与通信技术	数字个人隐私、意识和控制（2021年11月） 加强宽带计划（2020年11月） 网络安全（2019年6月）
4	教育和培训	IEEE美国会员的持续专业能力（2019年11月） 工程许可证教育要求（2019年11月）

表2 IEEE-USA的政策立场声明 (2018—2021年)

(续表)

5	能源与环境	电气化运输 (2021年11月) 现有核电站 (2020年6月) 电力输送 (2020年1月) 国家能源政策建议 (2019年11月) 核聚变能源 (2019年6月) 商业核能与技术领导 (2019年6月)
6	工程劳动力	工程许可证 (2018年10月) 市场监管专业顾问 (2020年2月) IEEE-USA会员的持续专业能力 (2019年11月) 工程许可证的学历要求 (2019年11月) “工程师”头衔的使用 (2019年11月) 通过教育和就业移民改革确保强大的高科技劳动力 (2019年5月)
7	安全与隐私	数字个人隐私、意识和控制 (2021年11月) 网络安全 (2019年6月)
8	知识产权	美国国际贸易委员会的豁免令 (2020年1月) 美国专利法的平衡 (2019年11月) 根据35 U.S.C. § 101规定符合专利条件的主题 (2019年10月)

来源: <https://ieeeUSA.org/public-policy/positions/>.

2.5 公共政策交流

IEEE-USA通过公共政策的交流形式影响政策, 包括国会听证会的见证和声明、回应公共或

监管通知的正式评论、就公共政策问题向联邦政策制定者提出建议的公开信等。表3是IEEE-USA (和其他IEEE组织单位) 在第117届国会第一次会

表3 促进公共政策交流日志: 第117次国会第1次会议 (2021)

日期	内容
2021年12月22日	致信参议员罗恩·怀登, 表达对《2021算法问责法》的支持
2021年11月23日	致参众两院领导人的联名信 (CNSF), 支持《美国创新与竞争法案》(USICA) (S1260), 并敦促为立法授权的NSF项目提供足够的资金
2021年11月4日	致信众议院科学主席和成员, 鼓励委员会支持《2021年保持STEM人才法案》(S1744), 该法案由参议院提交, 将免除美国高等教育机构的外国STEM毕业生在美国绿卡配额方面的限制
2021年9月8日	联合致信众议院司法委员会和移民小组委员会主席, 敦促在即将出台的预算立法中, 为在美国攻读STEM学位的国际学生提供额外的EB签证
2021年8月25日	致信总统的科学顾问, 要求政府为寻求离开阿富汗的阿富汗科学家和工程师提供签证援助
2021年8月24日	致信众议院小企业委员会, 支持第4956号决议, 该法案支持美国小企业参与全球技术标准的制定
2021年7月27日	IEEE-USA对OSTP关于联邦政府在确保科学诚信方面作用的公众意见的回应
2021年7月20日	致信美国贸易代表, 敦促美国以反对拟议中的《联合国与贸易有关的知识产权协定》(TRIPS) 知识产权豁免, 以保持对私营部门开发防治COVID-19的技术和疫苗的激励

表3 促进公共政策交流日志：第117次国会第1次会议（2021）

（续表）

2021年6月29日	致信众议院教育和劳工委员会领导人，支持通过《合作伙伴法案》（PARTNERS Act，第636号决议），该法案将鼓励雇主通过行业合作、实习、学徒和在职培训计划，支持技术劳动力的发展
2021年6月28日	联合致信（CNSF）众议院和参议院拨款国防小组委员会领导层，就国防科技项目的2022财年资金水平提出建议
2021年6月11日	联合声明（能源科学联合会）支持能源部未来科学法案（HR 3593）
2021年5月18日	IEEE标准工作组1616主席Thomas Kowalick，在众议院能源和商业委员会关于“承诺和危险：汽车技术的潜力”的听证会上的声明
2021年5月7日	致信众议院领导支持《无尽前沿法案》（HR 2731）
2021年4月28日	致信参议院商务、科学和交通委员会领导支持确认埃里克·兰德博士为白宫科技政策办公室主任
2021年4月26日	致信参议院商务委员会领导表达对《无尽前沿法案》（S.1260）的支持
2021年4月21日	联合声明（美国创新工作组）表示支持引入《无尽前沿法案》（S1260）
2021年2月5日	联合（航空航天与科学联合会）致信拜登政府就美国新一届政府的太空计划优先事项提出建议
2021年1月25日	联合致信（美国创新工作组）敦促拜登总统在2022年预算提案中优先考虑基础研究和物理科学

来源：<https://ieeeusa.org/public-policy/log/archive/>。

议（2021年）年公共政策交流的日志。

在有些情况下，IEEE-USA还处理州和地方层面的问题，例如2007年IEEE-USA董事会成员和IEEE第三区主任登勒（John Dentler）在马里兰州议会的一个委员会为“反对州对计算机相关服务征收销售税”议题作证^[18]。

3. IEEE-USA对公共政策的影响

根据IEEE-USA2018—2020年年报，IEEE-USA对公众政策的影响主要表现在几个方面：

3.1 为立法提供支撑

IEEE-USA的公共政策活动包括直接倡导立法，以推动美国的科学技术发展、提高美国的竞争力，促进STEM教育。近年来IEEE-USA支撑的重要的立法主要有：

——人工智能相关立法。2020年美国《国防授权法案（NDAA）》，该法案于年底由国会通过，并于12月20日签署成为法律（公法116-92）。该法案的一些条款得到IEEE-USA的支

撑，包括：《国家人工智能倡议》《人工智能倡议法案》《国家研究资源特别工作组法案》《深度造假报告法案》《人工智能标准与国家安全法案》《确保对国际标准的领导能力法案》。这些条款将支持联邦政府开发和部署符合伦理的人工智能系统，并帮助美国更有效地参与国际标准制定工作^[19]。

——量子研究领域。2018年12月，IEEE-USA支持的《国家量子倡议法案》（HR 6227）签署成为法律，这一法案指导制定加速量子信息科学和技术应用发展的10年计划。

——能源研究和实验室现代化：2018年9月，由IEEE-USA支持的《美国能源部研究与创新法案》（H.R.589号提议）签署成为法律，为提高美国能源部实验室现代化水平、加强技术转让以及美国能源部科学办公室的研究优先事项做出了规定。

——国防科技研究：IEEE-USA支持的《2019国防部和劳工部、卫生和公共服务部以及教育部拨款法案》（HR6157）于2018年9月28日签署成

为法律, 国防科技计划的资金增加了7.6%, 或比白宫要求高出23亿美元^[24]。

一些重要立法的预备或调整, 也得到IEEE-USA的大力支持。例如, 2020年5月, 美国参议员舒默 (C.E.Schumer) 在参议院和众议院引入著名的《无尽前沿法案》, 此前曾邀请IEEE-USA评议他的草案并提出建议^[19]。

3.2 支撑联邦政府部门工作

IEEE-USA通过科学证据和技术, 为联邦政府各部门的工作提供支撑, 例如:

专利改革: 2018年IEEE-USA成功地支持了美国专利商标局采纳了一项建议规则, 该规则协调了事后专利审查中用于权利要求解释的标准与专利发行的权利要求审查标准。

激光能量学实验室: 2018年, IEEE-USA与IEEE纽约分部联盟一道, 对成员关心的削减能源部支持的激光能量实验室经费问题从基层做出反应。对实验室的资助已经包含在2019联邦预算中^[24]。

人工智能标准开发: 2019年8月, 美国国家标准与技术研究所 (NIST) 发布了一项计划, 优先考虑联邦机构参与人工智能 (AI) 标准的开发。该计划广泛引用了IEEE-USA/IEEE-SA (IEEE标准协会) 的联合输入, 以响应NIST早期的信息请求^[25]。

3.3 为国家应急政策提供咨询

在新冠疫情之后, IEEE-USA为美国国会办公室相关事项提供咨询, 包括: ①众议员曼金纳尼 (McNerney) 关于探索AI在新冠肺炎解决方案中的应用; ②众议员帕隆 (Pallone) 关于支持新冠肺炎立法中的科学技术研究; ③众议员波特曼 (Portman) 为扩大国立标准与技术研究院参与国际标准会议事项提供咨询; ④众议员谢里尔 (Sherill) 评估3D打印在COVID-19呼吸机治疗方案中的使用情况^[19]。

4. 结论与启示

4.1 结论

IEEE-USA在公共政策中的角色可以总结为: 一是把支持相关的公共政策作为学会的主要任务和目标; 二是设立专门的组织和计划负责实现公共政策目标; 三是根据国家相关领域政策的重点, 提出指导会员支持公共政策的重点领域和方向; 四是与相关的政府部门和立法部门建立长期的交流合作关系; 五是组织和动员学会的会员和相关的科技人员, 参与相关的政策研究和咨询活动。

IEEE-USA在公共政策中的角色基础是工程师群体的智慧, 正如戈弗 (Gover) 和彼得森 (Peterson) 在“IEEE-USA的草根政治角色”一文中所指出: “工程师在他们的技术工具包中具有分析问题的能力, 能够合乎逻辑地、客观地得出的具有较高知识强度的系统解决方案。对于政策的综合, 工程师们的头脑中可能会浮现出新的、创造性的观点。工程师可以彻底地、无偏见地和及时地进行研究, 为高质量的、有正当理由的政策立场提供辩护和游说。^[26]” IEEE-USA注意依靠工程师共同体的集体技术力量, 不仅注重在实践中吸纳大公司CEO、大学校长、政府实验室的主任以及其他有影响人物成为学会的成员, 通过他们的个人活动影响国会和形成部门的政策, 并通过新闻媒体加强与政策界的沟通, 而且在组织上设立专门政策资源和渠道, 增强对公共政策影响力。

4.2 借鉴

IEEE-USA支持和影响公共政策的经验, 对我国科技社团更好地发挥在公共政策中的作用具有重要的参考和借鉴意义:

第一, 提升和明确科技社团在公共政策中的地位。各类科技社团根据自己的特点, 明确科技社团在公共政策中的角色, 制定战略实施计划;

第二, 加强科技社团参与公共政策决策的组织管理。建立专门指导机构, 在选题和参与机制等方面指导科技社团参与公共政策, 建立严格的保证决策咨询产品质量的评审程序。

第三,加强科技社团参与公共政策的能力建设。提高会员参与公共政策的意识,培养和组织为决策咨询服务的队伍,加强在公共政策整个过程中提供思想和政策方案的理论、方法和技术手段等方面的培训,提高会员的科技咨询能力,建立专门的科技咨询组织,发挥科技社团的专业性和群体性优势。

第四,加强科技社团与相应领域政府部门之间的联系,从信息、人员、组织等多方面建立合作渠道,了解政府部门的政策需求,有针对性地参与公共政策制定和实施中。

责任编辑:陈峰 校对:李琦 王萌

参考文献

- [1] 杨书卷.科技社团参与新时代公共政策活动的模式研究[J].学会,2019(12):6.16-20+39.
- [2] 陶春,李正风.对科技社团决策咨询研究综述[J].学会,2012(11):9-12.
- [3] 常征,董阳,李婧茹.中国科技社团参与决策咨询的模式及其效果分析[J].第一资源,2013(01):137-147.
- [4] 戚敏.科技社团参与决策咨询的SWOT分析[J].学会,2009(06):32-35.
- [5] 夏婷.美国科技社团参与决策咨询的体制机制及其对我国的启示——以美国科学促进会为例[J].学会,2013(08):5-9,21.
- [6] 雷崇鸽,尚智丛.开展政策咨询,提高科技社团服务社会经济发展能力——美国物理学会的经验与启示[J].科技和产业,2017(07):134-137,156.
- [7] 张举,胡志强.英国科技社团参与决策咨询的功能分析[J].科技管理研究,2014,34(02):4.
- [8] 张举,胡志强.我国科技社团参与决策咨询的作用分析[J].科学管理研究,2014,32(01):117-120.
- [9] 任红梅,张宏翔.科技社团发挥决策咨询作用的实践和成效——以中国生物工程学会为例[J].学会,2021(10):41-45.
- [10] 陶春,李淑敏.科技社团在决策咨询中存在的问题——基于“科技社团在决策咨询中的地位和作用”调查问卷分析[J].学会,2013,(09):5-15.
- [11] 陈振明 编著.公共政策学——政策分析的理论、方法和技术[M].中国人民大学出版社,2004.
- [12] [美]托马斯·戴伊 著,孙彩红译.理解公共政策[M].北京大学出版社,2008.
- [13] 迈克尔·豪利特 M·拉米什著 庞诗等,译.公共政策研究——政策循环与政策子系统[M].三联书店出版 20.
- [14] 小罗杰·皮尔克著,李正风,缪航译:诚实的代理人 科学在政策与政治中的意义[M].上海:上海交通大学出版社,2010.
- [15] 肖浩辉,论学会的性质、功能和任务[J].湖南社会科学,1994(5):12-16.
- [16] 孙伟业.当代发达国家科技社团社会功能研究[C]//科技社团改革发展理论研讨会论文集.2017.
- [17] IEEE-USA Strategic and Operational Plan [EB/OL](2017-11-17)[2022-7-10] https://ieeeusa.org/assets/about/IEEE-USA-Strategic_Plan.pdf.
- [18] Meredith J W, McCarter P M. History of IEEE-USA: 1973-2009-An Overview of Four Decades[C]// IEEE Conference on History of Technical Societies. IEEE, 2009.
- [19] The 2020 IEEE-USA Annual Report: Innovating Our Way through Adversity.[EB/OL](2021-01-10)[2022-7-10].<https://ieeeusa.org/assets/about/annual-report/2020.pdf>.
- [20] IEEE-USA Policy Committees. [https://ieeeusa.org/public-policy/committees/\[EB/OL\]](https://ieeeusa.org/public-policy/committees/[EB/OL]). [2022-7-10].
- [21] IEEE-USA government-fellowships/[https://ieeeusa.org/public-policy/government-fellowships/\[EB/OL\]](https://ieeeusa.org/public-policy/government-fellowships/[EB/OL]) [2022-7-10].
- [22] IEEE-USA. Position Statement. Commercial Space Flight. [EB/OL](2021-11-03)[2022-7-10]. <https://ieeeusa.org/assets/public-policy/positions/aero/CommercialSpace1121.pdf>.
- [23] IEEE-USA. Position Statement.

ElectrifiedTransportation. [EB/OL](2021-11-03) [2022-7-10]<https://ieeusa.org/assets/public-policy/positions/energy/ElectrifiedTransportation1121.pdf>.

[24] The 2018 IEEE-USA Annual Report. [EB/OL](2019-01-10)[[2022-7-10]<https://ieeusa.org/assets/about/annual-report/2018.pdf>.

[25] The 2019 IEEE-USA Annual Report:

Engaging & Empowering Our Professional Community. [EB/OL](2020-01-10)[[2022-7-10].<https://ieeusa.org/assets/about/annual-report/2019.pdf>.

[26] Gover J E, Peterson M A. Guest Editorial: A Grass Roots Political Role for IEEE-USA[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 1996, 43(3):239-245.

The role of science and technology associations in public policy: The case of IEEE-USA

Fan Chunliang^{1,2}, Fan Tian^{1,2}, Yang Jia^{1,2}

(1. Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100149, China)

Abstract: Science and technology associations play an important role in serving public policy. The purpose of this paper is to explore the role of IEEE-USA in public policy. Through literature analysis, it brings up the analysis framework of the role of science and technology associations in public policy, discusses IEEE-USA's public policy mission, organizational setting, measures and achievements based on its strategic plan, annual report, official website and relevant papers, and summarizes its experience. Finally, this paper puts forward some suggestions on the role of Chinese science and technology associations in public policy from the following four aspects: enhancing and clarifying the status, enhancing participation, strengthening self-capacity building and strengthening communication with government departments in the corresponding fields.

Key words: science and technology associations; public policy; organization of public policy; IEEE-USA

(上接第65页)

Research on Youth Awards in Japan's science award system

Zhuge Weidong, Liu Ming

(School of Humanities, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Through sorting out the basic situation of the Young Scientist Awards set up by different organizations, this paper shows the basic development process of the Japanese Young Scientist Awards, and analyzes the characteristics of the Japanese Young Scientist Awards in terms of application process, award objects and award effects. This paper finds that the Japanese Young Scientist Award has its own system. It has made a lot of innovations in terms of reward methods and concepts, and has formed a positive complementary relationship among the various subjects within the reward system. Japanese non-governmental organizations, especially scientific societies, have played a central role in the selection process of the Young Scientist Award, giving full play to the advantages of the scientific community.

Key words: Japan; science award; young scientist; Youth Award

MAIN CONTENTS

Embarking on a New Journey and Making Great Achievements in the New Era

Construction of competence of strategic scientific and technological talents in China and countermeasures	Chen Jin et al	1
Research on ideas and policies to enhance the national strategic scientific and technological strength	Han Qi et al	9

S&T Innovation and Evaluation

How does basic scientific discovery promote the innovation of emerging industries: Inspiration from the 2022 Nobel Prize in Physics	Wu Peiyi et al	16
Research review on bioorthogonal chemistry and click chemistry	Meng Jiaolong et al	23
Research on the situation analysis of 2022 Nobel Prize in Natural Science based on bibliometrics	Yin Xi et al	34

S&T Talents and Education

Research on Youth Awards in Japan's science award system	Zhuge Weidong et al	54
--	---------------------	----

Science Culture and Scientist Spirit

Innovative exploration and consideration of video of exhibits in science center, from the perspective of science and culture integration: Take the documentary "Touch Science" as an example	Hao Qianqian	66
--	--------------	----

S&T Societies and the Development of CAST

Research on the competency of Chinese scientists to perform their duties in international organizations	Niu Zhongjun et al	73
The role of science and technology associations in public policy: The case of IEEE-USA	Fan Chunliang et al	81

中国科协创新战略研究院

2022年公开招聘博士后公告

中国科协创新战略研究院（简称“创新院”）是中国科学技术协会直属科研单位，主要承担国家高端科技创新智库建设工作，主要任务是负责科技政策、科技发展战略、创新文化和科技人物研究，科技数据中心建设，开展创新评估、决策咨询等活动。

2022年创新院博士后科研工作站将继续招收博士后科研人员。招收方式包括：独立招收；与中国科学院科技战略咨询研究院博士后科研流动站联合招收；与清华大学博士后流动站联合招收。

现将有关事项公告如下：

一、招聘对象

年龄在35周岁以下（含35岁，即未到36岁生日），在国内外已取得或即将取得博士学位者；具有较强的敬业精神、职业操守、科研能力和团队合作能力，心理健康，能尽职尽责地完成博士后研究工作；能够全职从事博士后研究，不挂职、不兼职。

二、招聘需求

部门	研究方向	招聘人数	岗位需求与招收条件
创新评估研究所	区域创新能力评估/产业经济学/创新创业研究	1	1. 管理学、经济学相关专业 2. 具有熟练的英语听、说、读、写能力，英语水平达到CET—6级以上水平 3. 具有较强的报告撰写能力，有科技创新类企业研究工作经验者优先/参与过国家战略性新兴产业研究项目者/有相关研究经验者优先
	科技战略与科技政策研究	1	1. 管理学、科学技术哲学、经济学、科学技术社会学等相关专业 2. 具有熟练的英语听、说、读、写能力，英语水平达到CET—6级以上水平 3. 具有较强的报告撰写能力，参加过国家重大科技规划、科技政策评估工作者优先
创新人才研究所	老科学家学术成长资料采集工程研究	2	1. 科学社会学、科学传播、心理学、科技管理学、情报学、科技史等相关专业 2. 熟练使用英文交流，具有相关科研项目经历者优先
	科技人才成长规律研究	1	1. 社会学、心理学、教育学、公共管理等相关专业 2. 擅长量化研究方法者优先 3. 熟练使用英文交流，具有相关科研项目经历者优先
	科技人才测算研究	1	1. 经济统计、数量经济、管理学等相关专业 2. 擅长计量及社会调查方法者优先 3. 熟练使用英文交流，具有相关科研项目经历者优先
创新环境研究所	“双碳”战略研究/清洁能源领域研究	2	1. 煤炭类、环境类、能源类等相关专业 2. 具备较强的独立研究分析及熟练的英文读写基础 3. 具有较强的报告撰写能力，参与过国家重大“双碳”系列项目研究/煤炭产业技术发展、清洁能源利用、能源领域技术预见等项目研究经历者优先

部门	研究方向	招聘人数	岗位需求与招收条件
调查统计中心	科技指标研究	1	1. 管理科学与工程、经济学、统计学等相关专业 2. 熟练掌握经济计量、统计分析等工具和方法 3. 在科技评价、指标设计、数据爬取、统计建模等方面有项目经验者优先
	科技人才规划与评估	1	1. 具有科技管理、人力资源、社会调查等相关专业背景 2. 熟练掌握统计分析工具和方法 3. 在科技政策、人才政策、政府规划、政策评估等方面有项目经验者优先
	科技工作者状况调查	1	1. 具有社会学、统计学、心理学等相关专业背景 2. 熟练掌握问卷设计、抽样设计、统计分析工具和方法 3. 在社会调查、量表设计、科技评价、人才政策等方面有项目经验者优先
数据中心（筹）	科技政策量化研究	2	1. 情报学、科学计量学、图书馆学、计算机、管理科学与工程等相关专业 2. 具有较好的数据分析能力、文字综合表达能力和英文读写基础 3. 在文本挖掘分析、数字经济政策、指标体系建设等相关方向有一定学术积累者优先
文献信息中心	科技战略研究	2	1. 理论经济学、公共管理、社会学相关专业 2. 外语优秀、有相关工作经历者优先
科研外事处	国际组织治理及政策体系保障研究	1	1. 管理学、科学技术哲学、科学技术社会学等相关专业 2. 具有熟练的英语听、说、读、写能力 3. 具有较强的调查研究能力和较好的文字能力 4. 具有较丰富的参与科研课题的经历，参加过国家重大科技规划、科技政策评估工作者优先
人事处（党办）	社会组织党建研究	1	1. 中共党员 2. 政治学、思政教育、马克思主义理论类相关专业

三、简历投递

申请者按要求填写《中国科协创新战略研究院博士后研究人员报名表》（附件），并尽快发送至联系人邮箱。报名表以《应聘部门+姓名》命名。我们将根据所收简历情况，分时间组织面试。

四、工作待遇

工资与待遇等按照中国科协创新战略研究院管理条例及国家相关规定执行；博士后研究期间有机会参与有关国际合作研究与交流，参加国内外学术会议。

五、联系方式

中国科协创新战略研究院人事处

联系人：高老师，朱老师

地址：北京市海淀区玉渊潭南路3号水科院南院8号楼

电话：010-68789907

电子邮箱：naishr@cast.org.cn

附件：详见<https://www.cnais.org.cn/cn/arcview/3006.html>

● 科律·技韵

满江红·2022年10月全球科技界大事回顾

□ 中国科协创新战略研究院 董阳

隧穿洞窥，隐传态，岂奉臬主？¹
生化荟，点睛积跬，经典何畏？²
始祖基序久孳蛻³，创世星云重摹绘⁴。
酪愈淬⁵，瞬息脑波随⁶，智益睿⁷。
光电催⁸，陆海馈⁹。癘疫殒¹⁰，穹窿邃¹¹。
日盈昃，羲和夸父竞追。¹²
梦天探空致广大¹³，链路测时尽精微¹⁴。
科教兴，神州蓝图伟，众望归。¹⁵

注释：

¹ 10月4日，瑞典皇家科学院宣布，将2022年诺贝尔物理学奖授予来自法国、美国 and 奥地利的3位科学家，表彰其“用纠缠光子进行的实验，建立了贝尔不等式的违反，并开创了量子信息科学”。

² 10月5日，瑞典皇家科学院宣布，将2022年诺贝尔化学奖授予来自美国 and 丹麦的3位科学家，表彰其“为点击化学和生物正交化学的发展作出了贡献”。

³ 10月3日，瑞典皇家科学院宣布，将2022年诺贝尔生理学/医学奖授予来自瑞典的1位科学家，表彰其“在已灭绝的古人类基因组和人类进化方面的发现”。

⁴ 10月19日，美国国家航空航天局（NASA）宣布，詹姆斯·韦布太空望远镜拍摄到“创世之柱”，即星际间稠密的气体与尘埃形成了瘦长的气体柱，并透过云层揭示了在这些云团中形成的恒星。

⁵ 10月13日，发表于《自然》的成果显示，研究人员最新研发出一种外骨骼“靴子”，能帮助使用者在真实世界环境中走得更快、更高效。

⁶ 10月19日，发表于《科学》的成果显示，可使用磁共振成像（MRI）在毫秒级时间尺度上，非侵入性地跟踪大脑信号的传播。

⁷ 10月24日，发表于《美国国家科学院院刊》（PNAS）的成果显示，科学家设计了一种新型机器人抓手以及一种能够以最少的规划和感知适应一系列复杂物体的抓取策略，利用柔性机器人的自然顺应性并通过顺应结构对其进行增强，不需要传感、规划或反馈控制（当今多数机器人抓手依靠嵌入式传感器、复杂反馈回路或先进机器学习算法）。

⁸ 10月12日，发表于《自然》的成果显示。中国科学家通过综合集成多种可在时空尺度衔接的技术，对光催化剂纳米颗粒的光生电荷转移进行了全时空探测，在国际上首次“拍摄”到光生电荷转移演化全时空图像。

⁹ 10月19日，发表于《自然》的成果显示，中国科学家发现热带海洋变暖对东亚季风气候具有强化作用，首次从能量学角度阐释了低纬海洋过程在气候演变中的驱动作用，为解答海-陆水热循环联系提供最新见解。

¹⁰ 10月14日，发表于《科学》的成果显示，中国科学家揭示了结核病原菌脂磷酸酶通过劫持宿主泛素而重塑宿主细胞的膜脂组成进而抑制细胞焦亡的病原免疫逃逸新机制，为基于病原-宿主互作界面的结核治疗提供了新思路。

¹¹ 10月9日，中国高海拔宇宙线观测站（LHAASO）、高能爆发探索者（HEBS）和慧眼卫星（Insight-HXMT）同时探测到迄今最亮的伽马射线暴，这是中国首次实现对伽马射线暴的天地多手段联合观测，并独家实现了从最高的十几太电子伏光子，到兆电子伏伽马射线和千电子伏X-射线的多谱段精细测量，跨越9个量级。

¹² 10月9日，中国成功将综合性太阳探测专用卫星——先进天基太阳天文台“夸父一号”（ASO-S）发射升空，实现中国天基太阳探测卫星跨越式突破，将与中国首颗太阳探测科学技术试验卫星“羲和号”携手探日。

¹³ 10月31日，梦天实验舱在海南文昌成功发射并准确进入预定轨道。

¹⁴ 10月5日，发表于《自然》的成果显示，中国科学家首次在国际上实现百公里级的自由空间高精度时间频率传递，有效验证了星地链路高精度光频标比对的可行性，向建立广域光频标网络迈出重要一步。

¹⁵ 10月16日至22日，中国共产党第二十次全国代表大会胜利召开，并发布关于十九届中央委员会报告的决议，指出“要实施科教兴国战略、强化现代化建设人才支撑，坚持教育优先发展、科技自立自强、人才引领驱动，办好人民满意的教育，完善科技创新体系，加快实施创新驱动发展战略，深入实施人才强国战略，加快建设教育强国、科技强国、人才强国”。

NAIS

中国科协创新战略研究院
National Academy of Innovation Strategy



ISSN 1671-4342

