

科技强国面向未来的科技战略 布局特点分析*

陈云伟^{1,2} 曹玲静^{1,2} 陶 诚³ 张志强^{** 1,2}

(1. 中国科学院成都文献情报中心科学计量与科技评价研究中心, 成都 610041;

2. 中国科学院大学经济与管理学院图书情报与档案管理系, 北京 100190;

3. 中国科学院发展规划局, 北京, 100864)

摘要: 通过梳理美国、英国、德国、法国、日本等科技强国、欧盟以及在某些特定领域领先的其他科技发达国家近年来发布的重大科技战略布局, 归纳出科技强国面向未来的科技战略布局趋势与特点, 包括: 长期战略部署稳定支持基础研究; 重点战略部署量子科技、人工智能、先进计算、网络空间与安全科技、未来信息通信、健康与生命科学、现代农业与食品科技、纳米科技与新材料新制造、空间科技、科学与技术大数据等前沿科技领域; 重视经济社会可持续发展领域的科技创新; 培养与造就适应未来科技创新需求的人才队伍。最后, 提出了4点建议, 即: 长期稳定支持基础科学研究, 夯实创新根基; 创新组织方式, 加强引领性关键核心技术攻关; 前瞻规划部署未来重大引领性科技创新领域; 营造良好创新生态, 培养一流创新人才等, 以期促进我国从科技大国走向科技强国。

关键词: 科技战略; 基础研究; 科技强国; 科技竞争

DOI: 10.16507/j.issn.1006-6055.2020.02.013

Analysis on the Feature of Power's Future-oriented S&T Strategies*

CHEN Yunwei^{1,2} CAO Lingjing^{1,2} TAO Cheng³ ZHANG Zhiqiang^{** 1,2}

(1. Scientometrics & Evaluation Research Center (SERC), Chengdu Library and Information Center,

Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. Department of Library, Information and

Archives Management, School of Economics and Management, University of Chinese Academy of

Sciences, Beijing 100190, China; 3. Bureau of Development Planning, Chinese Academy

of Sciences, Beijing, 100864, China)

Abstract: By combing the major future-oriented strategic layout of science and technology issued by the United States, the United Kingdom, Germany, France, Japan, the European Union, as well as other advanced countries and technological powers in certain specific fields in recent years, this paper sums up the trend and characteristics of the future-oriented strategic layout of science and technology powers. It points out that the long-term strategic deployment supports the basic research stably; the key strategic deployment focuses on the innovation initiative in frontier scientific and technological fields such as quantum technology, artificial intelligence, advanced computing, cyberspace and security technology, future information and communication, health and life science, modern agriculture and food science and technology, nanotechnology and new material manufacturing, space science and technology, big data of science and technology; the strategic deployment of scientific and

* 中国科学院战略研究与决策支持系统建设专项(GHJ-ZLZX-2020-31-1), 中科院政策调研课题(ZYS-2020-03)

** E-mail: zhangzq@clas.ac.cn

technological innovation in the field of economic and social sustainable development deployment is emphasized talents are cultivated and trained to meet the needs of future scientific and technological innovation. In order to transfer China from a big country of science and technology to a powerful country of science and technology it puts forward some suggestions such as long-term and stable support for basic research to lay a solid foundation for innovation; innovative organization mode to strengthen leading key technology research; forward-looking planning and deployment of future major scientific and technological innovation fields; creating a good innovation ecology to cultivate first-class innovative talents.

Keywords: Science and Technology Strategy; Basic Research; Scientific and Technological Power; Technology Competition

当今世界正面临百年未有之大变局,正处在大变革大调整之中,新一轮科技革命和产业变革正在孕育兴起。在过去十多年的时间里,世界科技发展呈现出前所未有的系统化突破性发展态势,世界已经进入以创新为主题和主导的发展新时代,全球创新的新格局加速形成,抢占科技和经济发展制高点的竞争愈发激烈^[1-3]。近十多年来,世界上科技强国及一些创新型国家都加强了对科技发展的战略规划,以期在新一轮科技创新中掌握主动权和占据竞争优势^[4]。例如,美国陆军在2016年从军事技术发展的角度发布《至2045年新兴科学和技术趋势》报告,提出了物联网、机器人与自动化系统、智能手机与云端计算等20项最值得期待的科技发展趋势^[5];韩国国家科学技术审议会在2017年公布至2040年的《第五次科学技术预测调查结果》报告,分析了未来社会值得关注的40个发展趋势^[6];欧洲议会在2018年发布由欧盟政策研究中心(Centre for European Policy Studies, CEPS)完成的《全球趋势2035》报告,讨论了经济和社会领域的全球趋势及其潜在政策影响^[7]。2019年9月,欧盟委员会发布《未来新兴技术旗舰计划与大型研究计划》报告,提出了数百个研究团队的大规模长期研究计划,目标是解决欧洲的主要科学和技术挑战、提升欧盟的科学和工业格局^[8]。诸如此类的分析报告不胜枚举,无不说明世界科技发达国家都越来越重视面向未来科技的趋势研判和战略谋划工作。

近年来,我国加快实施创新驱动发展战略,提出了到2035年跻身创新型国家前列、至2050年建成世界科技强国的宏伟目标。我国在过去几十年的时间里在生物技术、航天技术和信息技术等领域取得了重大成就^[9],但要建设成为世界科技强国,仍面临重大挑战。在这样的全球科技竞争环境下,科学研判与预测未来科技发展趋势、审慎制定战略规划与发展路线图、做好中长期科技发展规划显得尤为重要。为此,本文着重梳理、分析和归纳美国、英国、德国、法国、日本等科技强国,欧盟以及在某些特定领域领先的位居创新型国家前列的部分科技发达国家近年来发布的面向未来的重大科技战略布局,分析归纳其共性规律和特色布局,以期为我国中长期科技发展规划制定及面向2050年的科技战略布局提供参考。

1 长期战略部署稳定支持基础研究

重视发展基础研究是提高国家原始创新能力和国际科技竞争力的重要前提,是建设创新型国家的动力源泉,也是跻身世界科技强国的必要条件。纵观世界主要科技强国及创新型国家,都长期重视基础研究,在战略部署上强化基础研究作为创新基础,并且拥有强大的基础研究实力。

美国在2015年10月发布的第三版《美国创新战略》将创新性基础研究列为六大关键举措之一,要求美国高校、国家实验室、企业实验室等长期坚持投资基础研究。美国国家科学基金会(National Science Foundation, NSF)持续投资与支

持基础研究,美国联邦政府每年投入约380亿美元经费进行基础研究^[10],其中24%来自于NSF^[11]。NSF在2018年2月发布的《构建未来:投资科学发现和创新战略规划2018—2022》^[12]中重新界定了NSF的愿景是成为研究和创新的全球领导者,这一定程度上体现了美国基金资助机构对基础研究的重视。

欧盟“地平线2020”计划(2014—2020)的战略优先领域之一就是聚焦基础研究,作为其后续计划的“地平线欧洲”(Horizon Europe,2021—2027)计划,又将基础研究作为三大重点关注领域之一,这说明欧盟长期重视基础研究,将其视为战略布局的重点^[13]。

俄罗斯进入21世纪以后开始重新审视其基础研究发展战略,出台了一系列相关举措,包括改革国家级科学院系统、牵头建设国际大科学项目、支持国家科学中心开展跨学科研究、设立并完善国家科学基金制度和加强青年科研人员培养等,同时制定了许多发展计划,包括2012年发布的《2013—2020年俄罗斯国家科技发展规划》《2013—2020年俄罗斯基础研究长期计划》《2013—2020年俄罗斯国家级科学院发展计划》等^[14]。

韩国在2018年先后发布了《第4期基础研究振兴综合计划(2018—2022)》和《2019年度基础研究实施计划》等^[15]计划,确立了“以研究者为中心”而非“以课题为中心”的支持体系,加大对基础研究投入力度。

此外,英国、德国、法国、日本等主要发达国家政府对基础研究都有长期稳定的资助体系,将基础研究置于重要位置。例如,英国在人工智能领域基础研究方面,通过发布白皮书、出台相关政策、强化人才培养、拓展国际合作等多种手段,优

化支持人工智能发展的基础条件和环境,对整个人工智能技术的发展基础、战略方向、人才储备进行长期稳固布局^[16]。同样,日本在2017年3月发布的《人工智能技术战略》报告中,也将人工智能研发重点聚焦到基础研究创新,通过集合各领域顶尖人才开展下一代类脑架构和数据知识集成的人工智能基础创新研究^[17]。德国和法国均拥有国际知名的科研机构专门从事基础研究,德国的马普学会^[18]以及法国国家科研中心^[19]都被视为各自国家基础科学研究的中坚力量。

2 重点战略部署未来科技创新前沿科技领域

新一轮科技革命的创新活动表现出向全球多点多极发展的特点,特别是信息、生物、物质、材料、空间等学科领域可能正孕育重大发展^[2],在人工智能、量子技术、基因编辑技术等科学技术方面或将引起颠覆性技术突破。在此科技发展的驱动下,以绿色、智能、可持续为特征的产业变革也呈现出蓬勃发展之势,世界各国特别是科技强国都在抢占科技创新制高点,尤其是在决定未来科技竞争的战略必争领域更为主动地展开了前瞻性战略布局。纵观国际上创新前沿科技领域战略布局重点,总结得出以下十个前沿科技领域或技术方向的布局尤为重要,或将成为科技强国争夺未来科技制高点的关键科技领域。

2.1 量子科技:孕育中的第三次量子革命

继1900年前后的量子力学革命和1970—1980年代的量子信息技术革命之后,量子通信、量子计算等量子信息领域的飞速发展,正在孕育第三次量子科技革命。量子科技也逐渐成为事关国家未来核心竞争力的关键战略领域,科技强国纷纷启动相关战略规划,推进在量子科技领域进

行基础研究、关键技术研发、工程化攻关的一体化布局。

美国在2018年底通过了为期10年的“国家量子计划法案”^[20],并明确授权美国能源部(United States Department of Energy, DOE)、NSF及国家标准与技术研究院(National Institute of Standards and Technology, NIST)在2019—2022年内投入约12.5亿美元,推进量子通信、量子计算机和超精密量子传感器三大领域的发展。随后,DOE将量子信息科学作为其发展布局的重点,其2019年预算的6个研究计划中有5个都与量子信息科学相关,分别是先进科学计算研究计划、基础能源科学计划、生物和环境研究计划、高能物理计划和核物理计划^[21]。为了进一步支持国家量子计划的实施,DOE在2020年1月宣布将在未来5年内提供6.25亿美元,建立2~5个多学科的量子信息科学研究中心^[22]。尤为值得关注的最新进展是,美国在2020年2月发布了《美国量子网络战略构想》,提出美国将开辟由量子计算机和相关设备组成的量子互联网,其目标是在未来5年内发展相关基础科学和关键技术,未来20年内通过量子互联网实现传统网络无法实现的新功能,使量子互联网成为推动经济增长和提高生活质量的最强引擎^[23]。

欧盟计划通过近30年的努力,凭借“地平线2020”计划(2014—2020)、“地平线欧洲”计划(2021—2027),通过支持量子通信与量子计算相关项目实现量子科技从基础研究向基础设施的发展演进。例如,2018年10月正式启动投资10亿欧元的“量子技术旗舰计划”,致力于通过量子通信、计算、模拟、传感四方面的短期及中长期发展实现原子量子时钟、量子传感器、城际量子通信、量子模拟器、量子互联网和泛在量子计算机等的

重大应用^[24];2019年9月,欧盟发布《欧盟量子技术与量子互联网》报告,从通信、模拟、传感和计算四个角度描绘了未来量子互联网的发展蓝图,最终目标是建成量子网络,实现分布式量子计算机和量子传感器的互联^[25]。

英国在2014年启动国家量子技术计划,并于2015年发布《量子技术国家战略》,指导未来20年英国量子科技的发展。英国第一期(2014—2019年)国家量子技术计划已经结束,总计投入了2.7亿英镑;第二期2020—2024年计划投资3.15亿英镑^[26],重点支持相关创新中心的发展,包括为产业提供共享设施、聚集研究人员、支持基础研究、人才技能培训等^[27]。

德国在2018年发布《量子技术——从基础到市场》计划^[28],计划在2018—2022年资助约6.5亿欧元,通过创建研究网络、拓展研究领域、出台旗舰项目、加强国际合作、吸引人才等举措,重点攻关量子计算机、量子通信、量子测量技术、量子系统的基础技术等,从而使德国的研究机构和相关企业在量子技术转化中发挥主导作用。

日本近年来也将量子技术视为高新科技领域进行重点支持。2016年1月,日本政府在《第五期科学技术基本计划》中把量子技术称为创造新价值的核心优势基础技术;2017年2月,日本量子科技委员会发表的《关于量子科学技术的最新推动方向》报告提出了未来应重点发展量子信息处理和通信、量子测量、传感器和影像技术、最尖端光电和激光技术等方向^[29];2018年3月,日本文部省发布量子飞跃旗舰计划(Q-LEAP),主要涉及量子信息处理(量子模拟、量子计算机等)、量子测量和传感器、下一代激光技术三大技术领域,旨在资助日本光量子科学的研究活动^[30];2019年12月,日本和美国签署了《东京量子合作

声明》^[31],计划联合培养专业人才,共享设施、数据与方法等;2020年1月,日本统合创新战略推进会议发布《量子技术创新战略(最终报告)》,提出日本将制定面向未来10~20年“量子技术创新战略”,旨在国家层面开展统一协调的研发活动^[32]。

俄罗斯于2019年12月宣布计划在未来5年投入约7.9亿欧元推进国家量子行动计划^[33],明确提出要制造一台实用的量子计算机,并由此跻身量子科技一流国家行列。

2.2 人工智能:科技强国角逐的核心技术领域

人工智能是引领新一轮科技革命和产业变革的战略性技术,应用场景不断扩大,革新各行业生态,逐渐成为全球科技研发主流领域之一。世界各国都意识到人工智能将会带来社会经济变革,均重视对以深度学习为代表的主流人工智能技术研发的投入,催生新算法、新模型和新工具,同时制定保护人工智能产业良性发展的伦理和法律框架,加强针对性的专业人才培养。

美国的“人工智能计划”^[34]虽然在2019年2月才正式启动,但自2018年以来已采取多项措施来推动人工智能的发展。例如,白宫成立了人工智能专门委员会,负责协调各政府机构针对自动化系统研发、生物识别技术、计算机视觉和机器人等相关领域的投资计划;2018年7月,美国国防部(Department of Defense, DOD)成立联合人工智能中心,预计5年内投入17亿美元以服务美国国防部的各种军事任务和商业应用;2018年9月,美国国防高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)宣布投入20亿美元开发第三代人工智能技术,推动相关新技术在军事上的运用;美国还专门成立了人工智能国家安全委员会,负责审查人工智能相关技术的进展

及伦理道德问题;2019年6月,美国发布最新版的《国家人工智能研发战略规划》,强调对人工智能基础研究的长期投资,以保持美国在人工智能领域的全球领先地位^[35]。

欧盟在2018年4月发布《欧盟人工智能》报告,描述了欧盟在国际人工智能竞争中的地位,并制定了“欧盟人工智能行动计划”^[36],提出三大目标:重视技术研发和应用、应对人工智能带来的社会经济变革、制定伦理和法律框架。同期,欧盟成员国签署人工智能合作宣言^[37],计划在2018—2020年间投入200亿欧元,升级教育和培训体系。

英国在2017年10月发布《在英国发展人工智能》报告,提出了数据获取、人才培养、研究转化和行业发展等四个促进人工智能产业发展的建议^[38];2018年4月,英国发布《产业战略:人工智能领域行动》政策文件,进一步制定政府和业界有关人工智能技术的具体行动措施^[39]。

德国自2018年起将人工智能研发应用上升为国家战略,加紧出台集研发、产业、人才和标准规范于一体的政策规划。2018年7月,德国政府通过《联邦政府人工智能战略要点》文件^[40];同年11月,德国政府通过《人工智能国家战略》,计划到2025年总计投入30亿欧元,打造“人工智能德国制造”品牌,旨在推动德国人工智能研发和应用达到全球领先水平^[41]。

法国在2018年3月发布《人工智能发展战略》,目标是通过数据开放、人才培养、资金支持等举措,将法国打造成可与美、中竞争的世界一流人工智能强国^[42]。

日本人工智能技术战略委员会在2017年3月发布的《人工智能技术战略》中阐述了日本人工智能产业化发展路线图,包括三个阶段:数据驱

动的人工智能利用和应用(至2020年);公开使用人工智能技术和数据(2020至2025或至2030年);建立基于多领域连通的人工智能生态系统^[16]。日本政府在2019年6月发布《人工智能战略2019》,确立了三大战略目标,即具有世界顶尖人才培养与吸引能力、引领全球人工智能技术研发、引领全球人工智能产业^[43]。

2.3 先进计算:大数据时代的创新生产力

先进计算是新一代信息科技发展的基石,已成为大数据时代推动国家经济、社会、科技发展的重要力量,特别是高性能计算已成为一个国家科技综合实力的集中体现,因此引起了世界科技强国的广泛关注。

美国在2016年发布了《国家战略计算计划战略规划》,旨在增强建模、数值模拟和数据分析技术融合,实现百亿亿次计算能力。近年来美国大幅度增加对高性能计算的投入,例如,DOE“先进科学计算研究计划”在2017、2018和2019财年分别投入经费6.47亿美元、8.10亿美元和9.36亿美元,年均增长20.4%;2018年4月,DOE投资18亿美元(占DOE 2018财年预算的5.2%)资助第二轮超级计算机合作研发计划,加速研发新一代百亿亿次超级计算机^[44];2019年5月,DOE宣布将在2021年建成世界上最快的超级计算机,峰值运算可达每秒1.5 exaflops(百亿亿次)^[45];2019年11月,美国白宫科学技术政策办公室(White House Office of Science and Technology Policy, OSTP)在2016年版本的基础上发布更新版《国家战略性计算计划:引领未来计算》,侧重于计算机硬件、软件和整体基础设施,目标是开拓数字和非数字计算的新领域,开发、扩展和推进计算基础架构和生态系统,建立和扩大合作伙伴关系,以支持美国计算的未来^[46]。

欧盟为促进高性能计算技术的发展,在2017年3月成立针对世界级综合性高性能计算基础设施的“欧洲高性能计算共同计划(EuroHPC)”,开发百亿亿次计算机;欧盟委员会在2019年发布的公报显示,该计划已从欧盟成员国中选定8处地点建设“世界级”超级计算机中心,来自多方的项目总预算高达8.4亿欧元^[47];此外,欧盟还将新建10家面向高性能计算的卓越中心,以促进即将出现的百亿亿次计算和极限性能计算的使用。欧盟还设立了以产业界为主导的开放平台——ETP4HPC,旨在明确欧盟高性能计算技术生态系统的研发优先项,制定并持续更新高性能计算战略研究议程。2018年1月,欧盟宣布投入10亿欧元在2023年前研制完成两套E级超算系统,扭转超算研发落后中美的局面。2018年3月,欧盟委员会宣布推出欧洲处理器计划(European Processor Initiative, EPI),为其百亿亿次系统协同设计和开发一款自主知识产权的低功耗处理器^[48]。2018年11月,欧盟新成立的资助机构——欧洲高性能计算联合执行体正式开始运行,致力于促进超算和数据基础的建设。

日本政府在2018年开始投入1100亿日元,资助日本理化学研究所和富士通公司(自筹200亿日元),计划在2021年投入运行日本下一代超级计算机,把运算速度提高至目前全球最快超级计算机的10倍左右^[49],也力争建成全球最快的超级计算机。

2.4 网络空间与安全科技:新型国家安全的技术制高点

网络安全面临着多学科交融、新技术日新月异、受控实验操作困难等挑战,日益复杂和严峻的网络安全风险,使得网络安全逐渐成为国家安全战略中的重要议题。

美国自2018年以来密集出台网络空间相关战略、政策和法案,放宽了对政府和军方部署进攻性网络武器的限制,并安排了常态化网络演习制度、重新评估网络威慑战略等。2018年5月,美国国土安全部(Department of Homeland Security, DHS)发布《网络安全战略》^[50],确定了国土安全部未来五年将致力于培育更加安全和更具弹性的网络生态系统;2018年8月,美国通过《2019年国防授权法案》,确立了国防部在网络行动中的主导作用,提高了国防部发起军事网络行动的自由度,并明确将俄罗斯、中国、朝鲜、伊朗列为敌人^[51];2019年12月,DARPA发布《保障国家安全的突破性技术和新能力》2019年战略框架文件,将网络威慑与防御列为捍卫国土安全方面的重点关注内容,明确将重点关注网络空间可视化技术、针对恶意网络行为的增强归因、检测并抵御网络攻击的自动化工具开发等^[52];在此同时,美国国家科学技术委员会(National Science & Technology Council, NSTC)发布了最新版本的《联邦网络空间安全研发战略计划》,确定网络安全研发投入的总体新方向包括网络空间安全对用户的影响、网络系统全面实时维护和管理、网络有效响应,并点明人工智能、量子信息科学、可信的分布式数字基础设施、隐私、安全硬件和软件、教育和劳动力发展6个优先重点研发领域^[53]。

欧盟在网络安全领域具有显著的优势,网络安全指数全球排名前20的国家有18个来自欧洲,这种优势得益于公民对网络安全和隐私领域的关心以及充满活力的网络安全市场。据欧盟在2019年9月发布的《建设强大的网络安全》手册介绍,欧洲的网络市场达到1300亿欧元,共有6万余家网络安全企业、660余家网络安全专业机构,网络安全、信任和隐私是欧洲数字单一市

场繁荣的基础^[54]。欧盟委员会在2019年12月发布《欧盟网络安全分类》指南提案,对欧盟的网络安全术语的概念及分类、网络安全环境、应用领域及相关研究进行了清晰的定义,目标是帮助欧盟发展网络安全技术和保持产业竞争力^[55]。

日本对网络安全领域的投入也急剧增长,2019财年为网络领域相关的国防预算分配了180亿日元,与2018财年相比增幅高达64%。

加拿大于2018年6月更新了其《国家网络安全战略》^[56],预计未来五年将投入5.077亿加元推进该战略的实施。

爱尔兰2019年12月发布的《2019—2024年国家网络安全战略》提出,在2019—2024年期间,爱尔兰政府将实施一系列系统性措施来保护国家安全、发展网络安全部门、深化互联网领域的国际参与^[57]。

当前,全球性网络威胁正在加剧,各类网络攻击事件频发,国家级黑客组织入局的网络攻击被视为最大的网络威胁。要保护关键基础设施免受严重的网络威胁,就必须持续提高关键基础设施和公共服务中的网络弹性,并进行广泛的改革。为此,美国、欧盟和俄罗斯等均开展了网络安全相关的模拟和演练。2019年10月,美国陆军举行的“网络闪电战”与日本地面部队举行的“东方盾”两场网络演习进行了融合,前者专注于防御性的网络战,后者专注于电子战、致命火力和作战计划的整合。演习的目的在于测试新设备、新兴技术、战术和程序的环境,将非致命行动与实时战争模拟联系起来^[58]。同时期,欧洲网络犯罪中心(European Cyber Crime Center, EC3)也组织了一场名为CyLEEx19的网络演习,在模拟环境中测试了欧盟执法紧急响应协议,模拟了一场影响整个欧洲及其它地区公共和私营部门的恶意网络活

动,包括滥用IT资源、对系统的未授权访问、漏洞利用、分布式拒绝服务和恶意软件感染等^[59]。2019年12月23日,俄罗斯成功完成首次国家级防“断网”演习,实现了在无法访问全球系统和外部互联网的情况下国家互联网仍能正常运转,此次演习对通信稳定性、蜂窝通信安全性、个人数据安全、拦截流量以及物联网安全性等重点问题进行了综合演练^[60]。

2.5 未来通信:5G及6G技术引导的人类社会全面变革

新一代移动通信技术(5G技术及未来的6G技术)将革命性地提高通信传输速度,加速推动人类社会进入全面互联互通的智能化时代。未来的智慧城市、自动驾驶车辆、智能制造乃至现代农业等领域都将依赖5G乃至6G技术。5G有望成为下一次工业革命中至关重要的革新性技术,为经济发展和国家竞争力带来巨大助力,甚至促进某些军事应用的革新。2019年底到2020年,越来越多的国家开启5G的正式商用,未来十年,5G服务将全面覆盖通信网络。

新美国安全中心(Center for a New American Security, CNAS)在2019年11月发布的《保障美国5G未来:美国政策面临的竞争挑战和思考》报告中指出,美国5G发展与中国相比可能处于弱势,并建议重新制定5G领域的竞争策略,将5G技术作为中美在第四次工业革命中的基础性竞争力^[61]。美国国防部在2018年12月和2019年12月总计发布了4个5G技术提案,包括智能仓库和资产管理、5G动态频谱共享、增强现实/虚拟现实和5G智能仓库网络,以便更好地利用高速无线网络^[62]。

韩国科学技术信息通信部(Ministry of Science and ICT, MSIT)在2019年7月发布《5G +

ICT研发技术路线图(2019—2026)》,将5G网络设备作为十大核心产业之一,并通过5G的发展支撑其他九大核心产业发展,包括:下一代智能手机、虚拟现实与增强现实设备、可穿戴设备、智能监控、无人机、机器人、车联网通信、信息安全、边缘计算等,指明了韩国未来以5G为核心的ICT研发投入方向^[63]。

日本在2020年1月推出了到2030年实现6G技术的综合战略,目标是用10年时间,改变5G研发上不占优势的现状并在6G上实现反超^[64]。

未来太空互联网的发展也将把深空变成人类信息传输的自由疆界,5G时代的太空互联网将与地面5G网络融合,构成天地一张网,由此带来大量新应用场景与需求,也为运营服务及设备制造等行业带来发展新机遇。美国在太空互联网领域起步较早,2019年3月,美国商业航天公司OneWeb成功发射了6颗互联网卫星;2019年5月,美国SpaceX公司成功将首批60颗星链卫星送入太空,预计总计发射3.2万颗星链卫星的“星链计划”正式启动并得到美国联邦政府通讯委员会(Federal Communications Commission, FCC)批准,截至2020年2月16日,该计划已完成5次发射、300颗星链卫星的组网;2019年6月,美国国家航空航天局等在近地轨道部署全球最大芯片级微型卫星群ChipSats,由105颗邮票大小卫星组成。此外,亚马逊“柯伊伯项目”太空互联网计划准备把3236颗卫星发射入轨,为全球提供低延迟、高速度的太空互联网服务。欧洲航天局(European Space Agency, ESA)将开发用于泛欧洲量子通信基础设施的卫星系统,并在2019年4月与欧盟委员会签订《欧洲量子通信网络技术协议》。加拿大通信卫星公司Telesat也计划发射298颗卫星

来组成覆盖加拿大以及全球的太空互联网。

2.6 健康与生命科学: 人类健康的终极科学

在全球人口老龄化日益严重的大背景下,随着生物医学、信息和大数据技术的迅猛发展,健康与生命科学正在发生革命性改变,全球生命健康科技供给与产品市场正处于重组阶段。

美国高度重视生命科学与医药研究,围绕与人类疾病和健康相关的前沿领域,积极制定精准医学、个性化医疗、基因组医学、移动医疗与癌症诊疗等重大科技规划。例如,2013年启动“脑科学研究计划”,美国国立卫生研究院(National Institutes of Health, NIH)、DARPA、NSF等机构持续性给予了资金支持;2015年启动精准医疗计划新项目,为临床治疗提供新工具、新思路和最适疗法,引领医疗研究新模式;2016年白宫科技政策办公室(White House Office of Science and Technology Policy, OSTP)启动“国家微生物组计划”,旨在加深对微生物组的认识,推动微生物组研究成果在健康保健、食品生产及环境恢复等领域的应用;2018年7月,美国食品药品监督管理局(U.S. Food and Drug Administration, FDA)发布“生物类似药行动计划”(Biosimilar Action Plan, BAP),旨在提高生物类似药市场的竞争力,降低医疗成本^[65]。此外,美国还启动了诸如国家阿尔茨海默症计划、癌症“登月计划”等当前人类高度关心疾病诊疗的相关研究计划。

英国将发展健康产业作为脱欧后提振经济的重要战略举措,2018年12月发布了第二轮《产业战略:生命科学部门协定》^[66],提出建设世界领先的健康保护体系、支持数字病理学和放射学计划、支持建设区域数字创新中心网络、提供专家临床研究数据服务,并推动数据分析和共享。近年来陆续推出关于促进合成生物学发展的白皮书和路

线图,从基础研究到技术开发再到产业进行了总体布局。2012年7月,英国发布《合成生物学路线图》,其目标就是催生英国的合成生物学部门。2016年2月,又发布《生物经济的生物设计——合成生物学战略规划2016》报告,确定加速英国合成生物学基础研究能力的商业化,目标是在2030年前促进英国合成生物学市场规模扩大至100亿英镑。英国自2000年开始研究微生物耐药性问题,继2013年首个战略计划后,又于2019年1月推出新的《解决微生物耐药性2019—2024》5年计划,希望在2040年之前攻克微生物耐药性问题^[67]。

德国在2019年1月启动“国家抗癌十年”计划,目标是加强癌症预防,增强癌症早期诊断、创新治疗方法等方面的研究,巩固德国癌症研究的全球领先地位^[68]。

日本科学技术振兴机构(Japan Science and Technology Agency, JST)研究开发战略中心(Center for Research and Development Strategy, CRDS)于2016年4月发布《人类微生物组研究的整合推广:生命科学与医疗保健的新发展》报告,提出创造新型医疗保健与医药技术,加深人们对生命与疾病的理解。

韩国将生命健康列为与非存储器半导体、未来汽车同等地位的支撑未来经济发展的三大主力产业,并为之打造产业生态系统。2019年5月,韩国发布《生物健康产业创新战略》,希望通过创新政策激励与加大投资力度,提升韩国在生命健康领域的竞争地位^[69]。

俄罗斯2019年4月出台《2019—2027年俄罗斯联邦基因技术发展计划》,计划总投入1.75亿美元新建65个世界一流实验室和开展37个领域的基因技术研发^[70]。

澳大利亚在2019年7月发布《澳大利亚营养科学十年计划》,支持开展膳食选择、营养机制、精准营养等研究及教育培训^[71]。为了促进干细胞疗法研发和临床实践,澳大利亚在2019年10月发布《干细胞治疗使命路线图》及相应研究计划,计划在未来10年投入1.5亿澳元支持重点项目研发、临床实践与商业化,促进人才培养,强化基础设施建设,加强伦理研究等^[72]。

2.7 现代农业与食品科技:人口安全命脉科技

食品与农业是人类社会的生存之本,其发展直接关乎民生大计。随着全球人口的持续增长,全球农业与食品发展将迎来前所未有的巨大挑战,要依托关键核心技术的创新潜能,在2030—2050年建设可持续、营养和健康的食品与农业系统。

美国是农业强国,在保持全球竞争优势的前提下,仍然积极谋划未来发展战略。例如,2018年7月,美国在发布的“2020财年行政机构研发预算优先事项”备忘录中^[73],将农业列入八大研发优先领域之一,并优先发展精准农业、水产养殖技术和基因编辑技术。同月,美国国家科学院发布的《至2030年推动农业与食品研究的科学突破》战略报告^[74]指出,种植业、畜牧业、食品科技、土壤科学、农业水分高效利用、数据科学和系统科学是未来十年最有前景的7个农业相关研究方向。2018年12月,美国发布全新的《2018年农业提升法案》^[75],重点强调了支持营养项目、农业补贴、资源保护和农产品贸易等。美国农业部农业研究服务署(United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, USDA-ARS)也发布《2018—2022年植物遗传资源、基因组学和遗传改良行动计划》,其核心任务是利用植物的遗传潜力来帮助美国农业转型,促进美国成为全

球植物遗传资源、基因组学和基因改良方面的领导者这一战略愿景的实现。此外,在美国农业部发布的《2018—2020战略计划:农业转型》中,确定了食品营养安全与质量、可持续农业、作物生产与保护、动物生产与保护四大目标^[76]。美国的战略先行政策保证其农业领域形成了系统的科学决策体系,农业科技政策与制度也在不断优化,促进了农业科研成果转化,激发了美国私人部门在农业和食品加工领域投入的持续增加^[77]。在此背景下,由传统农业巨头公司演变而来的农业生物技术公司,通过向其他国家输出农业生物技术产品而实现了美国在农业领域的全球垄断地位,成就了美国农业发展的全球化特点。

欧盟在面向未来的研究创新战略中特别重视食品安全与健康、土壤可持续发展、农业和农村地区数字化等问题。2018年6月,欧盟在发布的《建立气候智能型可持续食品体系、打造健康欧洲的议程》报告中重点关注饮食多样化、健康饮食与食品安全体系等议题;2018年10月,欧盟发布《欧洲可持续发展生物经济:加强经济、社会和环境之间的联系》^[78],旨在发展为欧洲社会、环境和经济服务的可持续和循环型生物经济;欧盟在2019年开展“智慧生态社会乡村”试点项目,首次诠释了“智慧乡村”的概念,并致力于为“智慧乡村”提供良好的实践措施和研究案例;2019年4月,24个欧洲国家签署了关于“欧洲农业和农村地区的智能和可持续数字未来”的合作宣言^[79],旨在加速欧盟农业部门和农村地区的数字化转型,尽可能吸引年轻一代加入农业和农村商业中,以期建立全欧洲农业食品部门的创新基础设施和欧洲数据空间。

加拿大在2019年2月宣布实施新农业战略优先资助计划,主要聚焦新技术、环境可持续性、

战略发展、能力建设以及新出现的问题等方面,目的是促进农业部门解决新出现问题和利用机遇的能力。例如,潜在项目涉及人工智能技术、评估未来劳动力和技能需求的工具、生物能源作物、环境可持续的农业技术和帮助行业适应消费者偏好变化的策略等。

农作物一直都在地方性市场上有限地流通,是国民经济安全的保证。现在农作物将成为美欧等生物技术公司的财产^[80]。作为农业大国的阿根廷和巴西等在农作物品种研发与市场推广等方面的能力都较为落后,过于依赖美国的农业生物技术,故农业发展已经彻底沦为被美国控制的附庸产业。以农作物转基因技术为例,阿根廷和巴西主要农作物是大豆、玉米、棉花、小麦等,但70%以上农作物品种的专利权外流,巴西99%以上、阿根廷96%以上的转基因技术专利都属于外国企业^[81]。中国要稳定可持续地解决好14亿人口的吃饭问题,必须在农业发展上有清晰的国家长期战略,把农业发展的主动权、主导权牢牢掌握在自己手中。

2.8 纳米科技和新材料新制造: 高端制造产业的关键基石

纳米技术对国家安全和经济发展等意义重大,在航空航天、交通、电子产品、能源、农业、医药等领域应用广泛。近年来,机器学习等新技术越来越多地被用于材料制造领域,新工艺不断改进,新材料不断涌现,器件制造业不断取得突破。

美国2001年开始实施美国国家纳米技术计划(National Nanotechnology Initiative, NNI),在近二十年的发展中,不断更新其发展目标和资助重点,致力于在纳米尺度上理解物质^[82]。美国国家标准与技术研究院、国防部、国家自然科学基金、国家卫生研究院、能源部、美国国家航空航天局、

农业部等20多个部门和独立机构参与其中,累计投资超过290亿美元,其中2020财年预算总额超过14亿美元,重点资助以下领域的研发: 纳米技术基础研究及重大难题, 纳米技术驱动的应用程序、设备和系统, 基础设施和仪器, 环境、健康与安全等问题^[83]。美国把材料研发放在至关重要的位置,部署了“材料基因组计划”,并通过建设制造业创新研究所、材料创新平台、能源材料网络等举措,积极推动材料科学技术的发展。2011年出台的“先进制造伙伴计划”、2012年发布的“国家制造业创新网络(NNMI)计划”(后改名为“制造业美国”(Manufacturing USA)),大力推进了制造业创新研究中心建设。

欧盟通过稳定、持续的科研计划支持材料领域前沿研究和产业化开发,聚焦前沿技术产业化问题,推动材料领域融合发展;利用“地平线2020”计划布局材料高通量计算、材料高通量制备与表征、专用数据库及其平台建设^[84]。2018年发布的“地平线欧洲”计划也将先进材料和纳米技术作为六大关键使能技术之一,重点设计具有新特性和功能的材料,包括生物材料、纳米材料、二维材料、智能材料等^[14]。

日本2018年6月发布的《纳米技术和材料科学技术研发战略(草案)》^[85]指出,纳米和材料领域可能会利用人工智能、物联网和大数据技术来加速新材料开发,其发展将影响未来社会的形态,带来社会性变革。

此外,随着3D打印被越来越多行业采用,增加了时间元素的4D打印开始进入人们的视野。4D打印利用的是纳米工程的先进物理或生物材料,通过几何结构设计、智能材料分布设计来制备可调节形状、特性或功能的可控变形结构^[86]。4D打印技术最早源于美国麻省理工学院,鉴于其潜

在应用价值巨大,科技强国无不高度重视其在军事、医学、生活等领域的应用。例如,美国军方研制出了轻薄小巧的防弹衣等军事装备;美国国家航空航天局在2017年研发出用于外太空保护航天器的先进纤维材料^[87];美国和意大利研究人员合作研制出一种具有极强组织黏附力、微创、无痛且易于使用的微针^[88]。

2.9 空间科技:认知宇宙深空奥秘

伴随着引力波、高能天体物理粒子等研究的不断突破,人类观察与认知宇宙的视野越来越宽,空间观测的精确性和实时性不断提高。全球普遍预期随着空间科技的进步,航天产业的规模将显著增长,为此全球众多国家均启动或加强了在航天领域的战略布局。

美国作为第一个登上月球的国家,对航空航天方面尤为注重。2017年6月,美国重启国家空间委员会,积极谋划和制定未来太空发展的目标和途径,为美国在太空的未来提供保障;2018年3月,美国发布《国家空间战略》,阐述维护美国在空间领域核心利益的战略目标和举措^[89];2019年3月,NASA公布2020财年预算目标,其中包括107亿美元的探测活动费用,用于将宇航员送至月球或更远的星球^[90];2019年3月,美国提出“阿特米斯”(Artemis)载人探月计划,明确五年内重返月球;2019年5月,NASA发布《前往月球:NASA月球探索战略规划》,披露“Artemis计划”框架;2019年8月,白宫发布《2021财年行政研究和发展预算的优先事项》备忘录,提出在2024年前将宇航员送上月球,并将月球作为未来人类火星任务的试验场^[91];2019年9月,NASA发布2019版《金星探索路线图》,确定未来金星探索使用轨道器、探测器、高空平台、着陆器等多种任务框架^[92]。

欧洲天体粒子物理联盟(Astroparticle Physics European Consortium, APPEC)于2017年11月第三次发布《欧洲天体粒子物理战略2017—2026》^[93],确定10年研究目标,包括:高能 γ 射线、高能中微子、高能宇宙射线、引力波、暗物质、中微子的质量和性质、中微子混合和质量等级、宇宙微波背景、暗能量、天体粒子理论、探测器研发、计算和数据策略、基础设施等。2019年6月,欧洲空间局(European Space Agency, ESA)提出“宇宙憧憬”计划(Cosmic Vision),准备投入1.5亿欧元,以期在2028年完成发射“彗星拦截器”(Comet Interceptor)任务,这将成为首个探访真正原始“新”彗星或其他首次进入内太阳系的星际天体的航天器,从而更好地了解彗星的多样性及其演化过程^[94]。2019年10月,ESA发布《ESA技术战略》报告,提出到2023年实现航天器建造速度提高30%、每一代产品的成本效率提高一个数量级、创新技术的开发和应用速度提高30%、到2030年减少产生空间碎片等四大目标^[95]。

英国在2015年12月发布其首部《国家航天政策》,旨在使英国成为欧洲商业航天及相关空间领域技术的中心,同时在世界航天市场中占据更大份额^[96]。2018年12月,英国又出台《产业战略——航空航天政策》,提出要强化政产合作、开发新技术、培育人才成长环境、支持中小企业发展等举措^[97],帮助提升英国的航空航天竞争力。

日本在2017年12月修订《宇宙基本计划》实施进度表,指出日本将参与美国近月空间站计划,通过国际合作开展月面着落与探索活动。并且为解决航天人才不足、人才流动性低等问题,在2018年发布《促进航天产业人才培养》文件^[98],助力航空产业培养和人才储备。

韩国在2018年发布《第三次宇宙开发振兴基

本计划(2018—2022)》^[99],着力发展自主火箭技术、自主探月项目和卫星定位系统。

一些传统上的航天弱国、小国,也开始奋力跻身深空探测国家之列。以色列2019年2月发射“初始号”(Beresheet)月球探测器,2019年4月软着陆失败坠毁。印度空间研究组织(Indian Space Research Organisation, ISRO)在2019年6月宣布,作为计划于2022年实施的印度首次载人航天任务“宇宙飞船”计划(Gaganyaan)的延伸,将在2030年前研制并发射印度空间站^[100]。印度2019年7月发射“月船2号”(Chandrayaan-2),计划在月球南极着陆,但2019年9月失联、12月确认坠毁。

新兴空间国家不断涌现,越来越多的国家表现出深入认知宇宙的兴趣与意愿。一些创新型国家和发展中国家也纷纷创建空间机构,包括土耳其^[101]、卢森堡^[102]、澳大利亚^[103]、阿联酋^[104]、菲律宾^[105]、墨西哥^[106]和南非^[107]等。此外,11个阿拉伯国家在2019年3月联合成立了阿拉伯国家太空合作组织,将联合研制一颗用于观测土壤、气候和环境的人造卫星^[108]。

2.10 科学与技术大数据:新范式科学与技术发现的战略生产资料

科学与技术大数据是科学与技术领域高速膨胀式增加的海量数据资源,是科技领域又一次变革的战略生产资料,正在广泛渗透到人类社会的各个方面,成为一个重塑世界格局、创造人类未来的主导力量^[109]。科学与技术大数据引起了社会各界的高度关注,通常认为掌握了大数据核心技术就掌握了信息“制权”,系统分析这些源源不断的大数据,可驱动对科学新规律的认识和科学新现象的发现。科学与技术大数据正在成为科学发现的新型驱动力,未来新科技革命的策源地必将

是那些能掌握最完整、最系统、最准确的大数据,并且具有最快、最好的数据分析能力,最能有效利用数据的国家。

美国在2012年3月启动“大数据研发计划”,致力于提高从海量数据中提取知识和观点的能力,以加速科学发现;2014年10月,美国网络与信息技术研发计划(Networking and Information Technology Research and Development, NITRD)发布《国家大数据研发计划(草案)》;2016年5月美国再次发布《联邦大数据研发战略计划》,其目的是为在数据科学、数据密集型应用、大规模数据管理与分析领域开展和主持各项研发工作的各联邦机构提供一套相互关联的大数据研发战略,维持美国在数据科学和创新领域的竞争力;2019年12月,美国管理和预算办公室(Office of Management and Budget, OMB)发布《联邦数据战略与2020年行动计划》,其核心目标就是对数据的关注由技术转向资产,将数据作为战略资源开发^[110]。

欧盟在2014年10月建立大数据价值公私合作伙伴关系(Big Data Value PPP, BDV PPP),促进大数据研究与创新及相关社区建设,为繁荣欧洲的数据驱动型经济奠定基础。“地平线2020”计划预计在2016—2020年向BDV PPP投资5亿欧元,而私营行业合作伙伴的投资将超过20亿欧元。欧盟提出了全球资产这一新理念,将科研数据视为全球资产,启动了“数据价值链战略计划”(European Big Data Value Strategic Research Innovation Agenda),极大地增强了高质量数据的广泛可获取性,实现了欧盟内数据的自由流动性^[111]。继2014年发布《数据驱动经济战略》、2017年发布《打造欧洲数字经济》报告后,欧盟持续推进数据战略。2020年2月,欧盟委员会发布《欧洲数据战略》,其长期愿景是致力于建立单一的欧洲

数据空间,投资下一代技术、基础设施和技能,支持创建欧洲数据池,建设数据驱动的生态系统^[112]。

日本在2013年6月公布《创建最尖端IT国家宣言》,阐述了2013—2020年以发展开放公共数据和大数据为核心的日本新IT国家战略。日本大数据战略以务实的应用开发为主,尤其是与能源、交通、医疗、农业等传统行业相关的大数据应用开发。

随着生物学工具和技术的迅速发展,研究人员正在不断收集和分析数量持续增加的生物学大数据,若能从这些科学大数据中提取有用的知识,将对研究人员理解健康和疾病的关键制约因素产生深远影响。NIH推出“从大数据到知识计划”(Big Data to Knowledge, BD2K),支持研发创新和颠覆性方法和工具,目的在于加速大数据和数据科学在生物学研究中的应用。目前,BD2K计划已经解决了缺乏适用性工具、数据访问性不佳、生物学数据利用率不高等关键问题,实现了生物学大数据广泛使用的阶段性目标^[113]。

3 重视部署经济社会可持续发展领域的科技创新

从1980年代开始,可持续发展逐渐成为全球人类的共同追求,但由于各国之间的相关利弊博弈,人类的可持续发展事业道路曲折。2015年,联合国提出17项可持续发展目标,致力于通过协同行动,在2030年前解决社会、经济和环境的发展问题,进而使全球走上可持续发展道路。科技强国在可持续发展领域的战略布局体现出以下几个特点。

3.1 地球生态环境与海洋科技:保护人类家园

地球生态环境与海洋科技的稳定发展是保护

人类唯一家园的守护科技。人类只有一个家园,良好的生态环境是人类生存与发展的基础,环境保护和生态恢复是人类实现可持续发展的必经之路。从20世纪60年代起,生态环境与海洋领域的科技进展有力地深化了人类对地球自然环境的认识。但人类保护地球生态与应对气候环境变化的步伐,远远赶不上地球生态破坏与气候环境恶化的步伐。

NSF与国家科学研究委员会(National Research Council, NRC)在2015年发布的《海洋变化:2015—2025年海洋科学10年计划》中,明确将海洋酸化、北极、墨西哥湾和海洋可再生能源研究作为美国海洋研究的新方向^[114]。2018年11月,NSC发布《美国国家海洋科技发展:未来十年愿景》报告,确定了2018—2028年间海洋科技发展机遇与优先战略,重视对海洋的认知、海洋经济、海上安全、海洋生态健康、沿海人口与设施保护^[115]。

欧洲国家早已开始重视制定低碳转型的战略规划,发展气候友好型经济。2016年4月,欧盟发布《欧盟北极政策建议》报告,提出欧盟在北极优先开展应对气候变化和保护北极环境、促进北极地区的可持续发展、开展北极事务国际合作等三大重要事项^[116]。欧盟于2017年4月通过《自然、人类和经济行动计划》,致力于帮助欧盟各地保护生物多样性、获得自然保护的经济收益,并在2017—2019年快速推进欧盟《鸟类和栖息地指令》的实施^[117]。2018年欧盟委员会分两次向“环境与气候行动”项目合计投入超过3.4亿欧元,帮助欧洲向低碳经济转型^[118]。2019年12月欧盟推出《欧洲绿色新政》(European Green Deal)^[119],首先,设计了一系列深度转型政策,例如,欧盟委员会将于2020年3月前提出首部欧洲《气候法》,

把2050年实现气候中和的目标载入法律;其次,将可持续性和民众福祉视作经济政策的核心,并将可持续发展纳入欧盟核心决策和行动;最后,将在全世界范围内继续推广落实其环境、气候和能源政策,展开更有力的“绿色新政外交”。

英国一直是低碳经济的积极倡导者和先行者,是全球第一个将实现净零排放目标写入法律的国家,其重点发展的低碳领域包括:智慧能源系统、绿色金融标准、低碳交通、提高建筑能效、零排放产业集群等。英国能源与气候变化部(Department of Energy and Climate Change, DECC)与商业、创新与技能部(Department for Business, Innovation and Skills, BIS)于2015年3月联合发布《2050年工业脱碳和能源效率路线图》,探讨了钢铁、化工、炼油、食品和饮料、造纸和纸浆、水泥、玻璃、陶瓷等八大能源密集型行业实现CO₂减排和保持行业竞争力的潜力与挑战,绘制了英国工业的低碳未来路线图。2019年6月,英国政府宣布2050年前实现英国经济温室气体净零排放的目标,英国国家海洋学中心(National Oceanography Centre, NOC)发布《导航未来V》报告,指出到2030年海洋可持续发展应着重关注以下问题:四维海洋系统内在认知基础、海洋生态系统面临的威胁(气候、污染和种群等)、极端灾害、海洋观测技术模型等^[120]。

德国在2018年9月发布“能源转型创新”计划,明确了技术与创新转化、跨部门和跨系统、双重资助、国际合作的基本原则^[121]。德国政府还制定了《结构强化法》,总投资达400亿欧元,以便推进基于能源和气候政策的结构改革^[122]。

3.2 清洁可再生能源科技:向低碳经济转型

随着世界各国对能源需求的不断增长 and 环境保护意识的日益加强,向清洁与可再生能源转型

是必然趋势。2019年4月,国际可再生能源机构(International Renewable Energy Agency, IRENA)发布的《全球能源转型:2050年路线图》指出,可再生能源、提升能效和电气化是实现《巴黎协定》2050年全球能源相关碳排放减少70%目标的基本保障^[123]。

美国能源部先进能源研究计划署在2018年11月宣布投入9800万美元用于资助变革性能源技术开发,重点技术涉及集中式发电、分布式发电、发电效率、电网、电网储能、制造效率、交通运输部门能源转换、交通运输燃料、车辆等主题^[124],旨在促进颠覆性能源技术的创新,以便改进能源系统。美国能源部早在2011年就启动了名为SunShot的太阳能攻关计划,其目标是到2030年将太阳能发电成本降低75%^[125]。为此,近年来美国持续投资相关研究项目,2019年3月,美国能源部投入1.3亿美元,支持光伏、光热等早期技术研发^[126]。

欧盟委员会在2019年2月宣布设立创新基金,将在2020—2030年间投入超过100亿欧元,支持能源、建筑、运输、工业和农业等部门的清洁技术研发^[127]。2019年3月,欧洲能源研究联盟(European Energy Research Alliance, EERA)发布《生物能源战略研究与创新议程》,确定了到2030年的欧洲生物能源研究创新优先事项,以便最大程度发挥生物能源在能源脱碳中的作用,加速推进能源系统战略转型^[128]。同时,欧盟在风能和海洋能领域也进行了前瞻性的谋划布局,2019年11月,欧洲风能技术与创新平台(ETIP-Wind)发布《风能路线图》,确定了欧盟在2020—2027年间重点发展风电并网与集成、系统运行和维护、下一代风电技术、海上风电配套设施、浮动式海上风电等优先研发技术领域^[129];2019年,欧盟联合研究

中心(Joint Research Center, JRC)发布《未来海洋能新兴技术:创新和改变规则者》报告,提出第一代潮流能转换器、潮流能涡轮机创新转子技术、漂浮式潮流能概念、第三代潮流能转换器、第一代波浪能概念的新方法、第二代波浪能转换器、创新潮流能和波浪能动力输出技术、控制系统、系泊和站台系统、材料和部件十大促进未来海洋能发展的新兴技术。

英国2019年清洁能源发电量已经超过化石燃料发电量,并计划在2025年前逐步淘汰所有燃煤发电^[130]。2019年3月,英国发布《海上风电行业协定》,计划到2030年将英国海上风电装机容量增加到30吉瓦,满足英国三分之一的电力需求^[131]。

德国在2019年9月20日出台《气候保护计划2030》^[132],其中包括二氧化碳储存利用、鼓励节能改造、实施氢能战略、对相关研究提供基金资助等具体措施,涵盖能源、建筑、交通、农业等多个领域,以期到2030年实现德国温室气体排放比1990年减少55%的目标。

日本多年来低碳经济稳步发展,2016年,日本政府综合科学技术会议(Council for Science, Technology and Innovation, CSTI)发布《能源环境技术创新战略2050》^[133],把更为广泛的政治经济目标纳入发展低碳经济的进程中,以便实现到2050年全球温室气体排放减半和构建新型能源体系的目标。

氢能研发引起发达国家高度关注。IRENA在2019年9月发布的《氢能:可再生能源展望》报告指出,氢能与可再生能源结合使用可能是一种支撑能源转型的可行补充解决方案,预期到2040—2050年,电解制氢成本将降低一半,可再生氢能或将成为一种清洁能源新选择^[134]。美国

于2019年10月发布《美国氢能经济路线图》,展望了2030和2050年氢能发展趋势及各行业需求前景^[135];该报告同时指出,在过去十年中,DOE为氢和燃料电池提供的资金每年约1~2.8亿美元不等。英国气候变化委员会(Committee on Climate Change, CCC)在2018年11月发布《低碳经济中的氢能》^[136]报告,指出氢能将是实现英国能源系统脱碳的可靠选择,建议在脱碳、提高能效、技术开发、项目示范、公众参与等方面进行部署。德国每年投资1.1亿美元用于资助研究实验室测试工业规模应用的氢能技术。日本在2017年12月发布《氢能基本战略》^[137],其目标是到2030年将氢能价格降低到30日元每立方米,全国拥有900个氢气加气站和80万辆氢动力汽车;2019年3月,日本更新《氢能与燃料电池战略路线图》,明确到2030年的日本氢能发展技术性能和成本目标等^[138];2019年9月,日本政府经济产业省出台《氢能与燃料电池技术开发战略》,优先支持燃料电池、氢能供应链、电解水产氢等10个重点研发项目^[139]。2018年8月,澳大利亚联邦科学与工业研究组织(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, CSIRO)发布《国家氢能发展路线图:迈向经济可持续发展的氢能产业》^[140],描绘了澳大利亚从氢能制备到应用全产业链的未来发展蓝图,系统分析了氢能全产业链上主要技术的发展现状以及面临的挑战,并给出了针对性发展建议。

3.3 生物技术与生物经济:促进经济绿色转型

生物经济以生物资源和生物技术为基础,可以为食物需求、部分材料和能源需求提供可持续的响应,并保证提供高质量环境服务,对保护自然资源、实现可持续性发展具有重要作用。各大科技强国都将目光投向生物经济,加强生物经济战

略布局,多方位促进经济绿色转型,共同绘制可持续发展蓝图。经合组织(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)于2018年4月发布《面向可持续生物经济的政策挑战》研究报告^[141],指出世界各国对生物经济的关注已从最初利益层面发展到纳入政策主流。

美国在2019年2月发布《生物经济行动:实施框架》,确定将代谢工程和合成生物学、生物和生理生化、催化等作为主要研究领域,其愿景是促进生物质资源利用,支撑平价生物燃料、生物基产品和生物能源方面的持续利用,推动经济增长、能源安全和环境改善,最终促进经济可持续发展^[142]。2020年1月美国三院联合发布《保障生物经济2020》报告,指出美国应建立统一框架来评估生物经济,明确生命科学和生物技术的研究和创新对生物经济的驱动作用,强调工程学、计算和信息科学技术的推动作用^[143]。

欧盟在2018年10月发布《欧洲可持续发展生物经济:加强经济、社会和环境之间的联系》,旨在发展可持续和循环型生物经济,从而更好地服务于欧洲社会、环境和经济发展^[144]。欧盟委员会在2019年12月成立循环生物经济基金,向各种规模的创新型循环生物经济公司和项目提供融资^[145],生物经济战略已成为欧盟委员会促进就业、增长和投资的重要举措之一。

英国在2016年2月发布《生物经济的生物设计——合成生物学战略计划2016》报告,指出英国的合成生物学基础研究能力将加速商业化,目标是在2030年前促进英国合成生物学市场规模扩大至100亿英镑^[146]。2018年12月,英国发布《2030年英国国家生物经济战略》,提出利用可再生生物能源替代化石能源,从而改变英国的经济结构,使其成为集开发、生产、使用和出口生物解

决方案领域的全球领导者^[147]。

法国在2017年审议通过了《法国生物经济战略:2018—2020年行动计划》,确定了拓展知识、加强公众宣传、创造适于生物经济发展的条件、可持续生物资源产品与加工、资助保障等行动计划,以便促进国家生物经济蓬勃发展^[148]。

意大利先后在2016和2019年发布了两版意大利国家生物经济战略,其中2019年6月发布的《意大利生物经济:意大利可持续的新生物经济战略》,旨在提升意大利国内主要生物经济部门之间的联系,优化价值链,提高其在欧洲和地中海地区的作用和影响^[149]。

日本在2019年6月发布《生物战略2019》,确定了日本到2030年建成世界最先进的生物经济社会的战略目标,具体包括培育生物优先理念,发展生物社区,生物数据驱动经济发展,重点关注可持续性、循环性和健康管理问题^[150]。

加拿大在2019年5月发布首个《加拿大生物经济战略——利用优势实现可持续性未来》,其发展愿景是基于加拿大生物技术的优势,实现生物质和残余物利用价值的最大化,减少碳排放^[151]。

4 培养与造就适应未来科技创新需求的人才队伍

全球范围内人口老龄化带来的就业人口总数减少的问题引起了世界各国、特别是科技强国的高度关注,各国都将稳固科技人才队伍和在全球范围内吸引优秀人才作为重要的国家战略,以支撑国家经济、社会、科技的可持续发展。

美国科技政策办公室在2018年12月发布《2018—2023年STEM教育战略规划》^[152],致力于筑牢STEM(科学、技术、工程和数学)素养的基

基础,增加STEM的多样性、公平性和包容性,储备未来高素质劳动力。NSF也将继续资助STEM人才队伍,促进多样化的研究人员实力提升,提高国家的科学和创新技能。同时,美国为更好地服务于人工智能产业发展,计划在未来加强对因人工智能技术发展而失业的工人进行再培训,招募顶尖的技术人才,增加未来人工智能研究人员数量。

英国下议院科学技术委员会在2018年12月发布的《量子技术》报告^[153]指出,量子计划第二阶段应将人才培养和培训列为优先事项,以应对英国缺乏量子技术人才这一瓶颈问题,特别是兼具技术能力与商业转化能力的人才。具体举措包括通过发展产学研合作项目来加强大学和产业界的联系、促进产业界参与学生培养、为学生接受实际锻炼提供机会,从而培养适合实际应用的专业技术人才。2019年2月,英国多部门首次联合建立全国性的高校人工智能研究生课程体系,并在企业开展实践训练,支持人工智能领域的人才培养^[154]。2019年10月,英国宣布在未来5年内与企业共同投入3.7亿英镑,为生物科学和人工智能领域提供2700个新的博士学位攻读机会,人工智能类博士的资助研究方向包括:癌症早期诊断、航空和汽车领域的人工智能。生物科学博士资助的重点研究方向包括:2050年解决全球90亿人温饱问题的创新方法,可持续粮食生产,低碳能源、燃料和化学品,老龄化与健康等^[155]。

德国大学和科研机构在2018年10月联合成立了三所马普学院(Max Planck School),打造新型的跨机构和跨地区博士生培养网络,集聚顶尖科学家和科研人员,为全球范围内的优秀学生提供五年全面深入的跨学科博士生教育^[156]。

日本文部科学省在2019年3月发布覆盖本

科生、信息技术人员、教师等的超智能社会高级技术人才培养计划,目标是为日本建设超智能社会(社会5.0)培养高级技术人才^[157]。

韩国在《第4期基础研究振兴综合计划(2018—2022)》^[13]中明确实行“金字塔”分层人才培养制度,加大对青年研究人员的培养。其中,塔尖是达到世界级水平、可开展自主科学技术和未来新技术研发的“带头人”;中层是有潜力走上塔尖、创新能力强的“科研骨干”;底层为可获得长期稳定经费的“青年人才”。

俄罗斯在2019年5月公布了《世界一流科学教育中心资助规定》,致力于促进产学研合作和人才培养^[158]。始于2019年的俄罗斯“科学”国家项目计划到2024年在重点科学领域进入世界前五强,为实现此目标,俄罗斯积极创造条件,加大人才培养力度。为鼓励年轻有前途的科研工作者,俄罗斯新建立的150多个实验室中,30%将由年轻研究人员领导,1500个科研项目中,超过半数将由年轻科研人员负责^[70]。

西班牙在2019年5月创立了具有独立法人资格的西班牙青年学院,其旨在为西班牙青年人才提供参与国家和国际科学研究、科技咨询与科技政策制定的平台,鼓励青年人才开展创新性研究,促进青年人才与院士间的合作^[159]。

5 启示与建议

新中国成立70周年以来,我国科技实力实现了从量的积累向质的飞跃、点的突破向面的提升,已经成为世界上具有重要影响力的科技大国。但是若想从世界科技大国迈入科技强国行列,需要进一步在科技战略规划与布局上开展深入系统的研究。结合上文归纳发现的科技强国前瞻战略布局特点,本文提出以下四点建议。

5.1 长期稳定支持基础科学研究以夯实创新根基

科技强国无一例外都是基础科学创新强国。基础研究是整个科技创新体系的源头,建设科技强国必须要夯实基础研究根基、提升整体基础研究能力、奠定科技发展的“基础盘”。在这点上,必须有清醒的战略认识。2018年1月国务院发布《关于全面加强基础科学研究的若干意见》,明确提出在完善基础和应用基础研究体系外,还要重视基础研究支撑体系建设。但要长期稳定支持基础科学研究,国家决策上决不能左右摇摆。首先,需要不断完善科技政策体系,持续加大基础研究经费投入力度,搭建基础研究与应用研究之间的合作平台,持续鼓励培育原创性重大科技创新成果,并促进科技创新成果的转化应用,使基础研究和应用研究融合创新发展,从而改善基础研究与产业应用脱节的问题;其次,要形成符合不同类型基础研究的资助模式,国家目标导向的基础研究要强化统筹规划和竞争择优机制,要充分发挥科学家的积极性和自主权,形成自由探索性基础研究的学术生态;最后,要注重学科体系的基础建设,在持续发展传统学科体制的基础上,积极开辟新的发展空间,促进不同领域、不同学科的深度交叉融合,形成基础科学高质量发展新格局,保障基础研究健康持续发展。

5.2 创新组织方式加强引领性关键核心技术攻关

新技术的突破往往会刷新人类对现实世界的认知,引发对未来的无限遐想,特别是某些颠覆性新技术的诞生甚至会改写一个行业的发展模式,催生产业新理念、新业态、新产品,对经济发展范式带来革命性的变化。纵观技术发展趋势,以人工智能、基因编辑等为代表的引领性新技术有望

对未来科技发展带来颠覆性影响,我国应当创新组织方式、抢先布局、重点发展,力争跻身全球科技竞争前列。紧抓引领性新技术,这不仅仅对领域本身发展至关重要,也是当新一轮科技革命来临时带动我国科技水平整体提升的重要引擎,对我国经济社会高质量发展具有重大意义^[160]。以人工智能为例,人工智能作为影响广泛的颠覆性技术,产业发展势头迅猛。我国已将人工智能提升到国家战略层面,早在2017年就印发了《新一代人工智能发展规划》,并将发展人工智能写入政府工作报告,最大力度地支持人工智能发展,在战略规划与研发方面处于世界前列。我国应成功抓住新一代人工智能发展重大契机,发挥好人工智能的“头雁”效应,在顶层设计之下,瞄准若干方向进行重点攻关,以助力中国经济高质量发展,最终形成具有国际竞争力的技术研发能力和细分产业,成为我国赢得全球科技竞争主动权的重要战略抓手^[161]。再以5G为例,引领性关键核心技术的领先是我国5G发展引领全球的前提。早在2013年,我国多部门就成立联合推进组全面启动5G技术研发试验,相关企业持续的核心技术攻关与创新突破确立了我国5G的先发优势。为了巩固我国在未来信息通讯领域的优势,我国在2019年11月启动6G研发,成立国家6G技术研发推进工作组和总体专家组,分别负责推动中国6G技术研发工作实施、提出6G技术研究布局建议与技术论证。5G的成功经验更加证实了掌握引领性关键核心技术的重要性,因此需要在国家层面上创新组织方式,集中优势力量在更多领域取得关键核心技术突破,走自主创新之路,增强我国未来核心竞争力。如:在未来物联网社会的网络安全技术与通信技术、可能颠覆人类社会的量子计算技术、解决人类社会能源持续供给问题的可

持续能源技术、深入了解生命本质的生命科学技术、事关农业安全的种质创新及相关技术、决定制造业水平的新材料技术等。

5.3 前瞻规划部署未来重大引领性科技创新领域

准确预判未来创新机遇是非常棘手的一个问题。若我国能够前瞻性地预见世界科技发展前沿,积极主动地在可能产生重大突破的技术方向和研究领域进行战略性布局,坚持科学发展并谋求率先突破,对我国抢占全球科技与产业竞争制高点和全球话语权具有重要意义。我国应着力从国家发展紧迫需求中凝练重大科学问题,组织重大创新活动,前瞻性地考虑哪些前沿技术可能对未来科技创新产生重大影响并加以掌握。以量子计算为例,量子计算的出现,为经典计算机算力的跃迁带来可能,其对人类社会的革命性影响将远超经典计算,密码学、化学、制造业、金融和能源等领域都将因此而产生变革,具有深远的战略价值。虽然目前量子计算技术仍处于初级阶段,美国国家科学院于2018年12月发布的《量子计算:进展与前景》报告中指出,未来10年内仍很难制造出可投入实用的量子计算机^[162]。但是鉴于量子计算的巨大发展潜力及其对产业结构的深远影响,我国必须要加强开发力度、持续投入,以求在量子计算的竞争未来中处于有利位置。再以未来太空互联网领域为例,美国、欧盟和加拿大等都在积极推进,特别是以美国SpaceX公司的“星链计划”最为引人关注。2020年1月,我国银河航天首发星成功发射升空,开启了我国5G太空互联网的序幕,银河航天计划最终预计将发射2800颗卫星。我国应充分利用5G研发与产业优势,提前研判和布局,确保在太空互联网领域占据全球领先地位。

5.4 营造良好创新生态培养一流创新人才

世界各国都高度重视人才发展问题,在众多科技战略与规划中都把培养人才、稳固人才和吸引人才提升到了新高度。若想实现科技大国到科技强国的转变,我国需要大量的科学家、工程师、技术专家和管理专家等各类人才来支撑科技强国建设。虽然我国已经是人才队伍大国,但却不是一流创新人才大国,且创新生态仍不尽如人意。因此,我国应提前谋划与设计,完善“以人为本”的人才发展机制,在科技创新实践活动中培养、发现和使用人才,启动面向未来的人才培养与储备计划,营造良好的发展环境与创新生态,并制定相关人才引进政策在全球范围内吸引一流人才。在具体操作上,首先,需要建设和逐步完善以培养创新能力为核心的人才培养体系,针对不同类型科技人才需构建针对性的培养方案,突出特色能力导向;其次,需要改变国际科技人才使用观念,主张“为我所用”,而非一味地追求“为我所有”,在全球范围内“就地”建设服务于我国科技创新的各类人才队伍;最后,提高科技人才队伍的薪酬福利及社会保障水平,使选择科技工作成为青年人就业首选和人生理想,使我国成为全球科技人才就业或创业的“优选地”“梦想地”。

参考文献

- [1] 张志强. 洞察科技发展趋势,支撑科学发展决策[J]. 世界科技研究与发展, 2017, 39(1): 1-3.
ZHANG Z Q. Understanding the Development Trend of Science and Technology and Supporting the Decision-making of Science and Development [J]. World Sci-Tech R&D, 2017, 39(1): 1-3.
- [2] 张志强. 聚焦科技创新发展,服务科技强国建设[J]. 世界科技研究与发展, 2018, 40(1): 1-4.

- ZHANG Z Q. Focusing on the Innovation and Development of Science and Technology and Serving the Construction of Science and Technology Power [J]. World Sci-Tech R&D 2018 40(1) : 1-4.
- [3]陶诚,张志强,陈云伟. 关于我国建设基础科学研究强国的若干思考[J]. 世界科技研究与发展 2019 41(01) : 4-18.
- TAO C ,ZHANG Z Q ,CHEN Y W. Few Opinions on Building the Basic Science Research Power of China [J]. World Sci-Tech R&D 2019 41(01) : 4-18.
- [4]张志强,田倩飞,陈云伟. 科技强国主要科技指标体系比较研究[J]. 中国科学院院刊 2018 33(10) : 1052-1063.
- ZHANG Z Q ,TIAN Q F ,CHEN Y W. Research on Main Scientific and Technological Indicators of Science and Technology Power [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences 2018 33(10) : 1052-1063.
- [5]Office of the Deputy Assistant Secretary of the Army. APRIL Emerging Science and Technology Trends: A Synthesis of Leading Forecasts - PDF Free Download [EB/OL]. [2020-01-06]. <http://docplayer.net/23459084-April-emerging-science-and-technology-trends-a-synthesis-of-leading-forecasts.html>.
- [6]KISTEP. The 5th Science and Technology Foresight (2016-2040) [EB/OL]. [2020-01-06]. http://www.nstc.go.kr/c3/sub3_2_view.jsp?regIdx=865&keyWord=&keyField=&nowPage=1.
- [7]CEPS. Global Trends to 2035 [EB/OL]. [2019-07-01]. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/627126/EPRS_STU\(2018\)627126_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/627126/EPRS_STU(2018)627126_EN.pdf).
- [8]European Commission. Future and Emerging Technologies Flagships and Large Research Initiatives. [EB/OL]. [2020-03-17]. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/future-and-emerging-technologies-flagships-and-large-research-initiatives>.
- [9]FAN P L. Innovation in China [J]. Journal of Economic Surveys 2014 28(4) : 725-745.
- [10]MERVIS J. Data Check: U. S. Government Share of Basic Research Funding Falls Below 50% [EB/OL]. [2019-02-07]. <http://www.sciencemag.org/news/2017/03/data-check-us-government-share-basic-research-funding-falls-below-50>.
- [11]NSF. About the National Science Foundation [EB/OL]. [2019-01-27]. <https://www.nsf.gov/about/>.
- [12]NSF. Building the Future Investing in Discovery and Innovation-NSF Strategic Plan for Fiscal Years (FY) 2018-2022 [EB/OL]. [2019-01-27]. <https://www.nsf.gov/pubs/2018/nsf18045/nsf18045.pdf>.
- [13]European Commission. The Commission's Proposal for Horizon Europe [EB/OL]. [2019-02-06]. https://ec.europa.eu/info/designing-next-research-and-innovation-framework-programme/what-shapes-next-framework-programme_en.
- [14]张丽娟,袁珩. 俄罗斯政府基础研究投入、布局 and 主要发展措施 [J]. 世界科技研究与发展, 2018 40(6) : 584-594.
- ZHANG L J ,YUAN H. Basic Research Investment Layout and Main Development Measures of Russian Government [J]. World Sci-Tech R&D , 2018 40(6) : 584-594.

- [15] The Ministry of Information and Communication. Ministry of Information and Communication ,Promoted Basic Research Projects of 1 ,180.5 Billion Won in 2019 [EB/OL]. [2019-01-27]. https://www.msit.go.kr/web/msipContents/contents-View.do?cateId=_policycom2&artId=1412539.
- [16] 罗羽, 张家伟. 英国更注重人工智能基础性研究 [N]. 经济参考报, 2019-03-12(006).
LUO Y ZHANG J W. Britain Pays More Attention to the Basic Research of Artificial Intelligence [N]. Economic Information Daily, 2019-03-12(006).
- [17] Strategic Council for AI Technology. Artificial Intelligence Technology Strategy. [EB/OL]. [2019-12-31]. <https://www.nedo.go.jp/content/100865202.pdf>.
- [18] 郑久良, 叶晓文, 范琼, 等. 德国马普学会的科技创新机制研究 [J]. 世界科技研究与发展, 2018, 40(6): 627-633.
ZHENG J L, YE X W, FAN Q, et al. A Case Study of the Science and Technology Innovation Mechanism of Max Planck Society [J]. World Sci-Tech R&D, 2018, 40(6): 627-633.
- [19] 邱举良, 方晓东. 建设独立自主的国家科技创新体系——法国成为世界科技强国的路径 [J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(5): 493-501.
QIU J L, FANG X D. Construct Independent National S&T Innovation System——French Way to World S&T Power [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(5): 493-501.
- [20] The Senate of the United States. Congressional Science Committee Leaders Introduce Bill to Advance Quantum Science [EB/OL]. [2019-01-27]. https://science.house.gov/sites/republicans.science.house.gov/files/documents/HR6227NationalQuantumInitiativeAct_0.pdf.
- [21] DOE. DOE-FY2019-Budget-in-Brief [EB/OL]. [2020-01-06]. https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/03/f49/DOE-FY2019-Budget-in-Brief_0.pdf.
- [22] DOE. Department of Energy Announces \$ 625 Million for New Quantum Centers [EB/OL]. [2020-03-08]. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-625-million-new-quantum-centers>.
- [23] White House. A Strategic Vision for American's Quantum [EB/OL]. [2020-02-25]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2017/12/A-Strategic-Vision-for-Americas-Quantum-Networks-Feb-2020.pdf>.
- [24] Q. UANTUM. The Future is Quantum [EB/OL]. [2020-01-09]. <https://qt.eu/>.
- [25] European Commission. Quantum Technologies and the Advent of the Quantum Internet in the European Union-Brochure [EB/OL]. [2020-03-17]. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/quantum-technologies-and-advent-quantum-internet-european-union-brochure>.
- [26] EPSRC. UK National Quantum Technologies Programme [EB/OL]. [2019-12-06]. <http://uknqt.epsrc.ac.uk/>.
- [27] 王静. 英国量子技术计划第二阶段发展动向 [J]. 全球科技经济瞭望, 2019, 34(4): 33-37.
WANG J. The Development Trend of the Second Phase of UK Quantum Technology [J]. Global Science, Technology and Economy Outlook, 2019, 34(4): 33-37.

- [28] Bundesministerium für Bildung und Forschung. Quanten—ein neues Zeitalter? [EB/OL]. [2019-12-06]. <https://www.bmbf.de/de/quanten—ein-neues-zeitalter-7014.html>.
- [29] 文部科学省. 量子科学技術の新たな推進方策について 中間とりまとめ [EB/OL]. [2020-02-13]. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu17/010/houkoku/1382234.htm.
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. Interim Report on New Promotion Measures for Quantum Science and Technology [EB/OL]. [2020-02-13]. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu17/010/houkoku/1382234.htm.
- [30] 文部科学省. 光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP) 実施方針 [EB/OL]. [2020-02-13]. https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/033/houkoku/1410780.htm.
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. Light and Quantum Leap Flagship Program (Q-LEAP) Implementation Policy [EB/OL]. [2020-02-13]. https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/033/houkoku/1410780.htm.
- [31] US Department of State. The Tokyo Statement on Quantum Cooperation [EB/OL]. [2019-12-19]. <https://www.state.gov/tokyo-statement-on-quantum-cooperation/>.
- [32] 統合イノベーション戦略推進会議. 量子技術イノベーション戦略最終報告 [EB/OL]. [2020-03-08]. <https://www8.cao.go.jp/cstp/siryu/haihui048/siryu4-2.pdf>.
- Integrated Innovation Strategy Promotion Council. Quantum Technology Innovation Strategy Final Report [EB/OL]. [2020-03-08]. <https://www8.cao.go.jp/cstp/siryu/haihui048/siryu4-2.pdf>.
- [33] 王方. 俄罗斯加入量子战局 [N]. 中国科学报. 2019-12-26(02).
WANG F. Russia Joins Quantum Warfare [N]. China Science Daily. 2019-12-26(02).
- [34] The White House. Executive Order on Maintaining American Leadership in Artificial Intelligence [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/executive-order-maintaining-american-leadership-artificial-intelligence/>.
- [35] NSTC. The National Artificial Intelligence R&D Strategic Plan: 2019 UPDATE [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2019/06/National-AI-Research-and-Development-Strategic-Plan-2019-Update-June-2019.pdf>.
- [36] EU. Communication Artificial Intelligence for Europe [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/communication-artificial-intelligence-europe>.
- [37] 中国经济网. 欧盟将发布人工智能战略文件 [EB/OL]. (2018-04-15) [2019-12-26]. http://www.ce.cn/xwzx/gnsz/gdxw/201804/15/t20180415_28823818.shtml.
China Economic Network. The EU will Release the AI Strategy Paper [EB/OL]. (2018-04-15) [2019-12-26]. http://www.ce.cn/xwzx/gnsz/gdxw/201804/15/t20180415_28823818.shtml.
- [38] UK. Growing the Artificial Intelligence Industry in the UK [EB/OL]. [2020-01-06]. [\[www.globesci.com\]\(http://www.globesci.com\)](https://as-</p></div><div data-bbox=)

- sets. publishing. service. gov. uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/652097/Growing_the_artificial_intelligence_industry_in_the_UK. pdf.
- [39] UK. Policy Paper Artificial Intelligence Sector Deal. [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://www.gov.uk/government/publications/artificial-intelligence-sector-deal>.
- [40] Federal Government. Key Points for a Federal Government Strategy on Artificial Intelligence [EB/OL]. [2020-01-06]. https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Downloads/E/key-points-for-federal-government-strategy-on-artificial-intelligence.pdf?__blob=publicationFile&v=5.
- [41] Federal Government. National Strategy for Artificial Intelligence [EB/OL]. [2020-01-06]. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eckpunkt Papier-ki.pdf?__blob=publicationFile&v=10.
- [42] 陈晨. 外媒: 法国欲挤进人工智能“第一梯队” [EB/OL]. [2020-02-25]. <http://ihl.cankaoxiaoxi.com/2019/0311/2374068.shtml>.
- CHEN C. Foreign Media: France Wants to Squeeze into Artificial Intelligence "First Echelon" [EB/OL]. [2020-02-25]. <http://ihl.cankaoxiaoxi.com/2019/0311/2374068.shtml>.
- [43] 日本の首相と内閣. AI 戦略 2019 ~ 人・産業・地域・政府全てにAI ~ [EB/OL]. [2020-02-08]. <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/pdf/aisenryaku2019.pdf>.
- Prime Minister of Japan and His Cabinet. AI Strategy 2019: AI for Everyone ,Industry ,Region and Government. [EB/OL]. [2020-02-08]. <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/pdf/aisenryaku2019.pdf>.
- [44] DOE. Secretary of Energy Rick Perry Announces \$ 1.8 Billion Initiative for New Supercomputers [EB/OL]. [2019-12-08]. <https://www.energy.gov/articles/secretary-energy-rick-perry-announces-18-billion-initiative-new-supercomputers>.
- [45] VINCENT J. World's Fastest Supercomputer will be Built by AMD and Cray for US Government [EB/OL]. [2020-02-09]. <https://www.theverge.com/2019/5/7/18535078/worlds-fastest-exascale-supercomputer-frontier-amd-cray-doe-oak-ridge-national-laboratory>.
- [46] NSTC. The National Strategic Computing Initiative Update: Pioneering the Future of Computing [EB/OL]. [2019-12-31]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2019/11/National-Strategic-Computing-Initiative-Update-2019.pdf>.
- [47] EuroHPC. Eurohpc Announces Eight Sites to Host World-class Supercomputers [EB/OL]. [2019-12-08]. <https://www.etp4hpc.eu/news/211-eurohpc-announces-eight-sites-to-host-world-c.html>.
- [48] EU. European Processor Initiative: Consortium to Develop Europe's Microprocessors for Future Supercomputers [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-processor-initiative-consortium-develop-europes-microprocessors-future-supercomputers>.
- [49] MATSUOKA S. The Next Generation of Superfast Supercomputers [EB/OL]. [2020-02-09]. <https://www.nature.com/magazine-assets/d42473-018-00133-w/d42473-018-00133-w.pdf>.
- [50] DHS. Cyber Security Strategy [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/DHS-Cybersecurity-Strategy>

1. pdf.
- [51] Defense Intelligence Agency. China Military Power 2019: Modernizing and a Force to Fight and Win [EB/OL]. [2019-12-31]. <https://assets.documentcloud.org/documents/5684995/China-Military-Power-FINAL-5MB-20190103.pdf>.
- [52] DARPA. Creating Technology Breakthroughs and New Capabilities for National Security [EB/OL]. [2020-03-09]. <https://www.darpa.mil/attachments/DARPA-2019-framework.pdf>.
- [53] NIST. Federal Cybersecurity Research and Development Strategic Plan [EB/OL]. [2020-02-11]. <https://www.nitrd.gov/pubs/Federal-Cybersecurity-RD-Strategic-Plan-2019.pdf>.
- [54] State of the Union. Building Strong Cybersecurity in Europe [EB/OL]. [2020-02-10]. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/building-strong-cybersecurity-europe>.
- [55] NAI F I ,NEISSE R ,HERNANDEZ R J L ,et al. A Proposal for a European Cybersecurity Taxonomy [EB/OL]. [2020-02-11]. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC118089/taxonomy-v2.pdf>.
- [56] Public Safety Canada. National Cyber Security Strategy Canada [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://www.publicsafety.gc.ca/cnt/rsrscs/pblctns/ntnl-cbr-scrtr-strtg/ntnl-cbr-scrtr-strtg-en.pdf>.
- [57] Government of Ireland. National Cyber Security Strategy 2019-2024 [EB/OL]. [2020-02-11]. <https://www.skillnetireland.ie/wp-content/uploads/2020/01/National-Cyber-Security-Strategy-2019-2024.pdf>.
- [58] United States Army. Cyber Blitz Orient Shield Build Future Capabilities Multi Domain Operations Partnership [EB/OL]. [2020-02-20]. https://www.army.mil/article/228113/cyber_blitz_orient_shield_build_future_capabilities_multi_domain_operations_partnership.
- [59] ENISA. CyLEEx19: Inside a Simulated Cross-border Cyber-attack on Critical Infrastructure [EB/OL]. [2020-02-11]. <https://www.enisa.europa.eu/news/enisa-news/test-1>.
- [60] 新华社. 俄罗斯举行首次国家级防“断网”演习 [EB/OL]. [2020-02-20]. http://www.xinhuanet.com/world/2019-12/24/c_1125384227.htm.
- Xinhua News Agency. Russia Holds Its First National-level Anti-net-breaking Exercise [EB/OL]. [2020-02-20]. http://www.xinhuanet.com/world/2019-12/24/c_1125384227.htm.
- [61] KANIA E B. Securing Our 5G Future the Competitive Challenge and Considerations for U. S. Policy [EB/OL]. [2020-02-10]. <https://www.cnas.org/publications/reports/securing-our-5g-future>.
- [62] ROCKWELL M. DOD Seeks More 5G Prototypes [EB/OL]. [2020-02-17]. <https://fcw.com/articles/2019/12/09/dod-5g-prototypes-rockwell.aspx>.
- [63] MSIT. 5G + ICT R&D Technology Roadmap (2019-2026) [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://www.msit.go.kr/web/msipContents/contents-View.do?cateId=mssw311&artId=2076056>.
- [64] 新浪科技. 日经: 日本拟在 2030 年实现 6G [EB/OL]. [2020-02-25]. <https://tech.sina.com.cn/5g/i/2020-01-19/doc-ihnzahk5120784.shtml>.
- Sina Technology. Japan Economic News: Japan Plans to Achieve 6G by 2030 [EB/OL]. [2020-

- 02-25]. <https://tech.sina.com.cn/5g/i/2020-01-19/doc-iihnzakh5120784.shtml>.
- [65] FDA. Biosimilar Action Plan [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://www.fda.gov/media/114574/download>.
- [66] Office for Life Sciences. Industrial Strategy: Life Science Sector Agreement [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://www.gov.uk/government/publications/life-sciences-sector-deal/life-sciences-sector-deal-2-2018>.
- [67] Department of Health and Social Care. Tackling Antimicrobial Resistance 2019-2024 [EB/OL]. [2020-02-26]. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/784894/UK_AMR_5_year_national_action_plan.pdf.
- [68] Bundesministerium für Gesundheit. Startschuss der Nationalen Dekade Gegen Krebs [EB/OL]. [2020-02-26]. <https://www.bmbf.de/de/startschuss-der-nationalen-dekade-gegen-krebs-7755.html>.
- Federal Ministry of Health. The National Decade Against Cancer Kicks off [EB/OL]. [2020-02-26]. <https://www.bmbf.de/de/startschuss-der-nationalen-dekade-gegen-krebs-7755.html>.
- [69] CasBIO. 韩国发布《生物健康产业创新战略》 [EB/OL]. [2020-02-26]. https://mp.weixin.qq.com/s/RC_IPn5Tzw1eUJ8ecM1k3Q.
- CasBIO. South Korea Releases "Bio-Health Industry Innovation Strategy" [EB/OL]. [2020-02-26]. https://mp.weixin.qq.com/s/RC_IPn5Tzw1eUJ8ecM1k3Q.
- [70] 董映璧. 俄罗斯: 实施国家项目注重人才培养 推进基因与5G技术研发部署 [N]. 科技日报, 2020-01-02.
- DONG Y B. Russia: Implement National Projects ,Focus on Personnel Training ,Promote the Development of Genetic and 5G Technologies [N]. Science and Technology Daily 2020-01-02.
- [71] Australian Academy of Sciences. Nourishing Australia: a Decadal Plan for the Science of Nutrition [EB/OL]. [2020-02-26]. <https://www.science.org.au/files/userfiles/support/reports-and-plans/2019/2019-nutrition-decadal-plan.pdf>.
- [72] Morrison Government. Progressing the Long-term Plan for Stem Cell Research [EB/OL]. [2020-02-26]. <https://www.health.gov.au/ministers/the-hon-greg-hunt-mp/media/progressing-the-long-term-plan-for-stem-cell-research>.
- [73] The White House. FY 2020 Administration Research and Development Priorities [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/07/M-18-22.pdf>.
- [74] The National Academies. Science Breakthroughs to Advance Food and Agricultural Research by 2030 Report [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://portal.nifa.usda.gov/web/crisprojectpages/1013413-breakthroughs-2030-a-strategy-for-food-and-agricultural-research.html>.
- [75] USDA ERS. The Agriculture Improvement Act of 2018 [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://www.agriculture.senate.gov/imo/media/doc/CRPT-115hrpt1072.pdf>.
- [76] USDA. 2018-2020 ARS Strategic Plan [EB/OL]. [2019-12-09]. <https://www.ars.usda.gov/docs/plans-reports/>.
- [77] 高芸, 赵芝俊. 美国农业科技政策变迁及对中国的启示 [J]. 中国科技论坛, 2019(11): 180-

- 188.
- GAO Y ZHAO Z J. The Gradual Change of U. S. Agricultural Science and Technology Policy and Its Enlightenment on China [J]. Forum on Science and Technology in China ,2019(11) : 180-188.
- [78] EU. REC-18-002-Bioeconomy-Cover-WORD-Oct 2018 [EB/OL]. [2019-12-09]. https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec_bioeconomy_strategy_2018.pdf#view=fit&pagemode=none.
- REC-18-002-Bioeconomy-Cover-WORD-Oct2018. indd.
- [79] EU. Member States Join Forces on Digitalisation for European Agriculture and Rural Areas [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/eu-member-states-join-forces-digitalisation-european-agriculture-and-rural-areas>.
- [80] 威廉·恩道. 目标中国: 华盛顿的“屠龙”战略 [M]. 北京: 中国民主法制出版社 2013: 57.
- ENGDAHL F W. Target China: How Washington and Wall Street Plan to Cage the Asian Dragon [M]. China democracy and Law Publishing House ,Beijing: 2013 ,P57.
- [81] 丁光省. 从巴西、阿根廷农业看中国农业竞争力 [J]. 种子世界 2016(9) : 14-15.
- DING G S. Looking at China's Agricultural Competitiveness from the Perspectives of Agriculture in Brazil and Argentina [J]. Seed World ,2016 (9) : 14-15.
- [82] NNI. About NNI [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://www.nano.gov/about-nni>.
- [83] NNI. What is the NNI? [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://www.nano.gov/about-nni/what>.
- [84] 肖轶. 欧盟材料技术研究与开发主要做法及对我国的政策建议 [J]. 全球科技经济瞭望 , 2019 34(1) : 1-5 ,14.
- XIAO Y. A Study on EU's Experience on Material Technology Research and Development and Policies Recommendation for China [J]. Global Science ,Technology and Economy Outlook 2019 34 (1) : 1-5 ,14.
- [85] 文部科学省. ナノテクノロジー? 材料科学技術研究開発戦略(素案) [EB/OL]. [2020-01-06]. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/015-8/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2018/07/24/1407207_3.pdf.
- Ministry of Education ,Culture ,Sports ,Science and Technology. Nanotechnology? Materials Science and Technology R & D Strategy (draft) [EB/OL]. [2020-01-06]. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/015-8/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2018/07/24/1407207_3.pdf.
- [86] 高一聪, 曾思远, 冯毅雄 等. 支持 4D 打印的可控变形结构设计研究进展 [J]. 机械工程学报 , [2019-12-24] ,<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2187.TH.20191224.1229.058.html>.
- GAO Y C ZENG S Y ,FENG Y X ,et al. Review of Design of Programmable Morphing Composite Structures by 4D Printing [J]. Journal of Mechanical Engineering , [2019-12-24] ,<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2187.TH.20191224.1229.058.html>.
- [87] 蒋玥, 涂小奎. 超越 3D ,4D 打印来了 [EB/OL]. [2020-02-20]. http://www.mod.gov.cn/photos/2019-02/15/content_4836274.htm.

- JIANG Y ,TU X K. Beyond 3D ,4D Printing is Coming [EB/OL]. [2020-02-20]. http://www.mod.gov.cn/photos/2019-02/15/content_4836274.htm.
- [88] 刘海英. 4D 打印微针让打针不再疼痛 [EB/OL]. [2020-02-20]. <http://scitech.people.com.cn/n1/2020/0207/c1007-31575943.html>.
- LIU H Y. 4D Printed Microneedles Make Injections no Longer Painful [EB/OL]. [2020-02-20]. <http://scitech.people.com.cn/n1/2020/0207/c1007-31575943.html>.
- [89] Whitehouse. President Donald J. Trump is Unveiling an America First National Space Strategy [EB/OL]. (2018-03-23) [2020-02-20]. <https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/president-donald-j-trump-unveiling-america-first-national-space-strategy/>.
- [90] NASA. PowerPoint Presentation [EB/OL]. [2020-01-06]. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/fy2020_summary_budget_brief.pdf.
- [91] Whitehouse. Fiscal Year 2021 Administration Research and Development Budget Priorities [EB/OL]. [2020-02-20]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2019/08/FY-21-RD-Budget-Priorities.pdf>.
- [92] NASA. Roadmap for Venus Exploration (2019) [EB/OL]. [2020-02-20]. https://www.lpi.usra.edu/vexag/reports/roadmap_w_cover_092919.pdf.
- [93] Astroparticle Physics European Consortium. European Astrophysics Strategy 2017-2026 [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://www.appec.org/wp-content/uploads/Documents/Current-docs/APPEC-Strategy-Book-Proof-19-Feb-2018.pdf>.
- [94] ESA. ESA's New Mission to Intercept a Comet [EB/OL]. [2020-02-20]. http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/ESA_s_new_mission_to_intercept_a_comet.
- [95] ESA. ESA's Technology Strategy [EB/OL]. [2020-02-20]. http://esamultimedia.esa.int/docs/technology/ESA_Technology_Strategy_Version_1_0.pdf.
- [96] Nature. UK Shifts Its Space-science Strategy [EB/OL]. [2015-07-22]. <https://www.nature.com/news/uk-shifts-its-space-science-strategy-1.18024>.
- [97] Gov. UK. Policy Paper Aerospace: Sector Deal [EB/OL]. (2018-12-06) [2020-02-20]. <https://www.gov.uk/government/publications/aerospace-sector-deal>.
- [98] 経済産業省. 「宇宙産業分野における人的基盤強化のための検討会」の報告書を取りまとめました [EB/OL]. [2019-12-19]. <http://www.meti.go.jp/press/2018/05/20180501001/20180501001.html>.
- Ministry of Economy ,Trade and Industry. Compiled the Report of " Study Committee for Strengthening Human Base in Space inDustry" [EB/OL]. [2019-12-19]. <http://www.meti.go.jp/press/2018/05/20180501001/20180501001.html>.
- [99] 거대공공연구정책과정관우. 우주를 향한 대한민국의 새로운 도전, 제3차 우주개발진흥기본계획 발표 [EB/OL]. (2018-02-05) [2020-01-05]. <http://www.msit.go.kr/web/msipContents/contentsView.do?cateId=mssw311&artId=1374583>.
- Giant Public Research Policy. Course Republic of

- Korea's New Challenge to Space ,the 3rd Space Development Promotion Basic Plan Announced [EB/OL]. (2018-02-05) [2020-01-05]. <http://www.msit.go.kr/web/msipContents/contents-View.do?cateId=mssw311&artId=1374583>.
- [100] ISRO. India Planning to Launch Own Space Station by 2030 ,ISRO Chief Says [EB/OL]. [2020-02-20]. <https://thewire.in/space/isro-space-station-gaganyaan-chandrayaan-2>.
- [101] Nature. Turkey Creates Its First Space Agency [EB/OL]. [2019-02-04]. <https://www.nature.com/articles/d41586-019-00452-y>.
- [102] Spacenews. Luxembourg Establishes Space Agency and New Fund [EB/OL]. (2018-09-13) [2020-01-06]. <https://spacenews.com/luxembourg-establishes-space-agency-and-new-fund/>.
- [103] Spacenews. Australia to Establish National Space Agency [EB/OL]. (2017-09-24) [2019-12-31]. <https://spacenews.com/australia-to-establish-national-space-agency/>.
- [104] 中华人民共和国驻阿拉伯联合酋长国经商参处. 阿联酋航天局发布战略计划 [EB/OL]. (2015-06-02) [2019-12-31]. <http://ae.mofcom.gov.cn/article/jmxw/201506/2015060099667.shtml>.
- Economic and Commercial Office of the Embassy of the People's Republic of China in the United Arab Emirates. Emirates Space Agency Releases Strategic Plan [EB/OL]. (2015-06-02) [2019-12-31]. <http://ae.mofcom.gov.cn/article/jmxw/201506/20150600999667.shtml>.
- [105] Martin MG. Philippine Space Agency: Nation to be 'space-capable' within a Decade [EB/OL]. [2020-02-07]. <https://philippineslifestyle.com/philippine-space-agency-law/>.
- [106] Science. Mexico Gets a Space Agency [EB/OL]. (2010-04-22) [2019-12-30]. <https://www.sciencemag.org/news/2010/04/mexico-gets-space-agency>.
- [107] Brandsouthafrica. South Africa launches Space Agency [EB/OL]. (2010-12-10) [2019-12-30]. <https://www.brandsouthafrica.com/investments-immigration/science-technology/space-401210>.
- [108] 苏小坡. 11个阿拉伯国家“组队”研制卫星 [EB/OL]. [2020-02-08]. http://www.xinhuanet.com/2019-03/20/c_1124258511.htm.
- SU X P. 11 Arab Countries "Team up" to Develop Satellites [EB/OL]. [2020-02-08]. http://www.xinhuanet.com/2019-03/20/c_1124258511.htm.
- [109] 白春礼. 序(积极推动科学大数据国家发展战略) [J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(8): 766-767.
- BAI C L. Preface(Actively Promote the National Development Strategy of Scientific Big Data) [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(8): 766-767.
- [110] OMB. Federal Data Strategy 2020 Action Plan [EB/OL]. [2020-02-20]. <https://strategy.data.gov/assets/docs/2020-federal-data-strategy-action-plan.pdf>.
- [111] BDVA. The European Big Data Value Strategic Research Innovation Agenda [EB/OL]. [2019-12-08]. <http://www.bdva.eu/>.
- [112] European Commission. Newsflash: A European Strategy for Data [EB/OL]. [2020-02-20]. <https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/com->

- munication-european-strategy-data-19feb2020_en.pdf.
- [113] NIH. Big Data to Knowledge [EB/OL]. [2019-12-08]. <https://commonfund.nih.gov/bd2k>.
- [114] NRC. Sea Change: 2015-2025 Decadal Survey of Ocean Sciences [EB/OL]. (2015-05-11). [http://nas-sites.org.p.yitlink.com:80/dsos2015/files/2015/01/NSF-Response-to-Sea-Change-Report.pdf](http://nas-sites.org/p.yitlink.com:80/dsos2015/files/2015/01/NSF-Response-to-Sea-Change-Report.pdf).
- [115] NSTC. Science and Technology for America's Oceans: a Decadal Vision [EB/OL]. [2020-03-08]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/11/Science-and-Technology-for-Americas-Oceans-A-Decadal-Vision.pdf>.
- [116] EU. A New Integrated EU Policy for the Arctic Adopted [EB/OL]. [2020-03-08]. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_16_1539.
- [117] EU. An Action Plan for Nature, People and the Economy [EB/OL]. [2020-03-08]. https://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/fitness_check/action_plan/communication_en.pdf.
- [118] EU. LIFE Programme [EB/OL]. [2020-03-08]. <https://ec.europa.eu/easme/en/life>.
- [119] EU. European Green Deal [EB/OL]. [2020-02-23]. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.
- [120] EMB. Navigating the Future V [EB/OL]. [2020-03-08]. <https://www.marineboard.eu/navigating-future-v>.
- [121] Press and Information Office of the Federal Government. Innovationen für die Energiewende [EB/OL]. [2020-03-08]. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/innovationen-fuer-die-energiewende-1522134>.
- [122] 李山. 德国: 制定高科技战略的后续政策 推进人工智能与区块链战略 [N]. 科技日报. 2020-01-02.
- LI S. Germany: Formulate Follow-up Policies for High-tech Strategies, Advance Artificial Intelligence and Blockchain Strategies [N]. Science and Technology Daily 2020-01-02.
- [123] IRENA. Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050 (2019 Edition) [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition>.
- [124] DOE. Department of Energy Announces \$98 Million for 40 Transformative Energy Technologies Projects [EB/OL]. [2020-02-20]. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-98-million-40-transformative-energy-technology-projects>.
- [125] DOE. The SunShot Initiative [EB/OL]. [2020-02-19]. <https://www.energy.gov/eere/solar/sunshot-initiative>.
- [126] DOE. Department of Energy Announces \$130 Million for Early-stage Solar Research Project [EB/OL]. [2020-02-19]. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-130-million-early-stage-solar-research-project>.
- [127] European Commission. Towards a Climate-neutral Europe: EU Invests over 10bn in Innovative Clean Technologies [EB/OL]. [2019-06-21]. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-19-1381_en.htm.
- [128] EERA. Strategic Research and Innovation Agen-

- da [EB/OL]. [2020-02-19]. <https://www.ee-ra-set.eu/wp-content/uploads/EERABioenergySRIA2020.pdf>.
- [129] ETIP. Wind Roadmap [EB/OL]. [2020-02-19]. <https://etipwind.eu/files/reports/ETIP-Wind-roadmap-2020.pdf>.
- [130] NationalGrid. Britain's Clean Energy System Achieves Historic Milestone in 2019 [EB/OL]. [2019-06-21]. <https://www.nationalgrid.com/britains-clean-energy-system-achieves-historic-milestone-2019>.
- [131] Department for Business, Energy & Industrial Strategy. Offshore Wind Energy Revolution to Provide a Third of All UK Electricity by 2030 [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://www.gov.uk/government/news/offshore-wind-energy-revolution-to-provide-a-third-of-all-uk-electricity-by-2030>.
- [132] Press and Information Office of the Federal Government. Climate Action Programme 2030 [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://www.bundesregierung.de/breg-en/issues/climate-action/klimaschutzprogramm-2030-1674080>.
- [133] Japan for Sustainability. Japan's New Energy Strategies: Long-term Initiatives toward 2030 and 2050 to be Conducted by Ministries [EB/OL]. [2019-12-31]. https://www.japanfs.org/en/news/archives/news_id035624.html.
- [134] IRENA. Hydrogen: A Renewable Energy Perspective [EB/OL]. [2020-02-24]. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf.
- [135] FCHEA. Road Map to a US Hydrogen Economy [EB/OL]. [2019-12-31]. <http://www.fchea.org/us-hydrogen-study>.
- [136] Committee on Climate Change. Hydrogen in a Low-carbon Economy [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://www.theccc.org.uk/publication/hydrogen-in-a-low-carbon-economy/>.
- [137] Ministerial Council on Renewable Energy. Basic Hydrogen Strategy [EB/OL]. [2020-01-06]. https://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/1226_003b.pdf.
- [138] METI. Formulation of a New Strategic Roadmap for Hydrogen and Fuel Cells [EB/OL]. [2020-02-26]. https://www.meti.go.jp/english/press/2019/0312_002.html.
- [139] 経済産業省. 素・燃料電池技術開発戦略 [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://www.meti.go.jp/press/2019/09/20190918002/20190918002.html>.
- Ministry of Economy, Trade and Industry. Hydrogen / Fuel Cell Technology Development Strategy [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://www.meti.go.jp/press/2019/09/20190918002/20190918002.html>.
- [140] Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation. National Hydrogen Roadmap-pathways to an Economically Sustainable Hydrogen Industry in Australia [EB/OL]. [2020-02-24]. https://research.csiro.au/hydrogenfsp/wp-content/uploads/sites/247/2018/08/18-00314_EN_NationalHydrogen-Roadmap_WEB_180815.pdf.
- [141] OECD. Meeting Policy Challenges for a Sustainable Bioeconomy [CP/DK]. [2019-12-31]. OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.>

- 1787/9789264292345-en.
- [142] BR&D. The Bioeconomy Initiative: Implementation Framework [EB/OL]. [2019-12-31]. https://biomassboard.gov/pdfs/Bioeconomy_Initiative_Implementation_Framework_FINAL.pdf.
- [143] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Safeguarding the Bioeconomy (2020) [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://www.nap.edu/catalog/25525/safeguarding-the-bioeconomy>.
- [144] EU. Bioeconomic Strategy 2018 [EB/OL]. [2020-02-24]. https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec_bioeconomy_strategy_2018.pdf#view=fit&pagemode=none.
- [145] The European Commission and the European Investment Bank. European Commission and EIB Set up a Circular Economy Fund [EB/OL]. [2019-12-31]. <https://business-review.eu/international/european-commission-and-eib-set-up-a-circular-economy-fund-206915>.
- [146] SBLC. Synthetic Biology Strategic Plan 2016-Biodesign for the Bioeconomy [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://connect.innovateuk.org/documents/2826135/31405930/BioDesign+for+the+Bioeconomy+2016+-+DIGITAL.pdf/0a4feff9-c359-40a2-bc93-b653c21c1586>.
- [147] UK. Bioeconomy Strategy: 2018 to 2030 [EB/OL]. [2019-12-09]. <https://www.gov.uk/government/publications/bioeconomy-strategy-2018-to-2030>.
- [148] French Ministry of Agriculture and Food. A Bioeconomy Strategy for France: 2018-2020 Action Plan [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://agriculture.gouv.fr/bioeconomy-strategy-france-2018-2020-action-plan>.
- [149] BIT. Bioeconomy in Italy: A New Bioeconomy Strategy for a Sustainable [EB/OL]. [2020-02-24]. 2019 http://cnbbsv.palazzochigi.it/media/1719/bit_en_2019_web.pdf.
- [150] 統合イノベーション戦略推進会議. バイオ戦略 2019: 国内外から共感されるバイオコミュニティの形成に向けて [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/dai5/siryos3-2.pdf>.
- [151] BIC. Canada's Bioeconomy Strategy: Leveraging Our Strengths for a Sustainable Future [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://www.fpac.ca/canadas-first-national-bioeconomy-strategy-canadas-bioeconomy-strategy-leveraging-our-strengths-for-a-sustainable-future/>.
- [152] Committee on Stem Education. Charting a Course for Success: America's Strategy for STEM Education [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/12/STEM-Education-Strategic-Plan-2018.pdf>.
- [153] Commons Select Committees. Quantum technologies [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://publications.parliament.uk/pa/cm201719/cmselect/cmsctech/820/82003.htm>.
- [154] GOV. UK. Next Generation of Artificial Intelligence Talent to be Trained at UK Universities

- [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://www.gov.uk/government/news/next-generation-of-artificial-intelligence-talent-to-be-trained-at-uk-universities>.
- [155] UK Department for Culture, Media & Sport. Government Backs Next Generation of Scientists to Transform Healthcare and Tackle Climate Change [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://www.gov.uk/government/news/government-backs-next-generation-of-scientists-to-transform-healthcare-and-tackle-climate-change>.
- [156] Max Planck Schools. Bewerbungsstart für Max Planck Schools [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://www.mpg.de/12417366/bewerbungsstart-fuer-erste-max-planck-schools?c=2191>.
- [157] 文部科学省. 2019年度「持続的な産学共同人材育成システム構築事業」の公募について [EB/OL]. [2020-02-23]. http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/kaikaku/miraikachisouzou/1414911.htm.
The Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. About the Open Call for Participants in the "Building a Sustainable Industry-academia Joint Human Resource Development System Project" [EB/OL]. [2020-02-23]. http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/kaikaku/miraikachisouzou/1414911.htm.
- [158] The Russian Government. The Russian Government Установлен порядок предоставления грантов на господдержку научно-образовательных центров мирового уровня [EB/OL]. [2020-02-24]. <http://government.ru/docs/36626/>.
- [159] National Young Academies. Spanish Government Approves Creation of the Young Academy of Spain [EB/OL]. [2020-02-24]. <https://globallyoungacademy.net/spanish-government-approves-creation-of-the-young-academy-of-spain/>.
- [160] 张风帆. 把握新一代人工智能发展重大契机 [N]. 经济日报. 2019-12-28(007).
ZHANG F F. Seize the Major Opportunity for the Development of a New Generation of Artificial Intelligence [N]. Economic Daily. 2019-12-28(007).
- [161] 暨佩娟. 人工智能,看趋势也看需求 [N]. 山西政协报. 2019-09-20(004).
JI P J. Artificial Intelligence, Look at the Trend also Depends on the Demand [N]. Shanxi Political Consultative Conference. 2019-09-20(004).
- [162] NAP. Quantum Computing: Progress and Prospects [EB/OL]. [2020-01-06]. <https://www.nap.edu/catalog/25196/quantum-computing-progress-and-prospects>.

作者贡献说明

陈云伟: 论文框架设计, 信息检索, 信息归纳, 论文撰写;

曹玲静: 信息检索, 信息解读, 论文修改;

陶 诚: 信息解读, 论文修改;

张志强: 论文修改, 选题设计。