



白春礼,中国科学院院士,“一带一路”国际科学组织联盟首任主席,曾任中国科学院院长、党组书记,发展中国家科学院院长,研究领域为有机分子晶体结构、EXAFS,分子纳米结构、扫描隧道显微镜。

# 科技革命与产业变革:趋势与启示

白春礼

中国科学院,北京 100864

自近代科学诞生以来已经发生了5次科技革命,其中2次科学革命、3次技术革命。这几次技术革命直接催生了3次产业革命,对人类社会的发展和进程产生了深远革命影响,从根本上改变了全球政治、经济格局。

## 1 科技革命是产业变革和技术进步的先导和源泉

科学革命是人类对客观世界认知上质的飞跃。第一次科学革命以牛顿发表《自然哲学的数学原理》为标志,由物理学领域的革命性突破开始,带动力学、光学、天文学、化学、数学等学科迅速发展,逐步形成近代的自然科学体系,极大程度上提高了人类的认知能力。第二次科学革命以相对论和量子

论诞生为标志,重塑了人类的时空观和对世界运动规律本质的认知,推动物理学、生物学、化学、天文学、信息科学等主要学科的突飞猛进,知识呈现爆炸式增长。

可以看到,前两次科学革命间隔200多年,虽然牛顿、爱因斯坦等“天才”科学家的出现加速了这一进程,但总的来说科学革命的发展是一个非常艰难、需要几代人前赴后继、各学科共同努力和持续积累、从量变引发质变的过程。一旦取得突破就会让人类对自然界宏观广度和微观深度的认知能力得到质的跃升,进而通过技术革命传导到产业革命,对经济社会发展带来革命性影响。

三次技术革命与三次产业革命紧密联系在一起,最根本动力就是围绕人的发展和解放。第一次技术革命进而引发第一次产业革命,以蒸汽机大规

收稿日期:2020-11-08;修回日期:2021-01-15

引用格式:白春礼. 科技革命与产业变革:趋势与启示[J]. 科技导报, 2021, 39(2): 11-14; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.02.002

模使用为标志,机械化取代手工劳动,人类社会从农业社会步入工业化时代。第二次技术和产业革命以电力技术和内燃机为标志,其引发了生产动力的变革,极大地超越了人的体能边界,满足了人类工作、生活的多样化需求,人类社会步入电气化时代。第三技术革命和产业革命以电子计算机和互联网为标志,极大地提高了信息处理能力,实现了对简单脑力劳动的替代,推动人类社会进入信息化时代,极大拓展了发展空间。

总体来看,科技革命是产业变革和技术进步的先导和源泉。科学领域的新发现、技术上的新突破,引发各学科领域的群发性、系统性突破,并在强大的经济社会需求的牵引下,驱动传统产业不断升级换代、新兴产业兴起和发展,从而使社会生产力实现周期性跨越式发展。

而且可以看到,科学与技术的关系也呈现日趋紧密、相互促进的过程,蒸汽机、翻纱机等早期的重大技术突破,很大程度上来自于工程师的实践经验总结,当时的基础研究和科技发展在两条几乎并行的轨道上前进。

第二次科学革命以来,科学和技术的关系日益紧密,互动日益频繁。电子信息、生物医药、人工智能、量子科技等重大技术的进步都是以科学研究的重大突破为基础。反过来,基础研究的发展也直接受益于技术与工程水平的进步。

## 2 新一轮科技革命和产业变革的特征及趋势

对于新一轮科技革命和产业变革,欧盟、经济合作与发展组织(OECD)、麻省理工学院(MIT)等多个机构和组织均发布相关研究报告,中国科学院也组织一批高水平的院士和科技专家开展相关战略研究,出版了《中国至2050年先进制造科技发展路线图》《技术预见2035》系列丛书等。结合相关研究发现,新一轮科技革命和产业变革呈现以下新特征。

1) 新一轮科技革命不再以单一技术主导,而是呈现多点、群发性突破的态势。

新一轮科技革命加速演进,各学科领域深度交叉融合,广泛扩散渗透,重大原创性基础研究和引领性原创成果不断涌现,可能的重点突破方向日益清晰明朗,例如人工智能、生命科学、新能源、新材料等众多领域都孕育革命的重大突破。基础前沿领域不断向宏观拓展、微观深入,比如宏观上“两暗一黑三起源”(“两暗”指暗物质、暗能量,“一黑”指黑洞,“三起源”指宇宙起源、天体起源和宇宙生命起源)成为关注焦点。2020年诺贝尔物理学奖颁发给证明黑洞、广义相对论的直接结果,以及在银河系中央发现超大质量天体的工作,这些是宇宙起源与演化方面的突破性发现。在微观领域,基本粒子、引力波也持续取得重要突破。

信息科技领域,以芯片和元器件、计算能力、通信技术为核心的新一代信息技术正处于重要突破关口,人工智能、大数据、云开发、区块链等新型技术成为数字化转型的重要驱动力。尤其是人工智能快速进步和广泛渗透,极大地加速了相关学科领域的发展,例如谷歌的AlphaGo在第十三届全球蛋白质结构预测竞赛中击败了所有人类的参赛者,成功根据基因序列预测了蛋白质的三级结构。研究结构生物学、化学的学者都知道,如何从蛋白质的一级结构预测三级结构是长期的课题,在这方面人工智能取得了非常好的成果,而且将时间从数年大幅度缩短到几个小时,这对生命科学研究、新药研发等具有重要意义。

生命科学领域,对基因、细胞、组织等的多尺度研究不断深入,基因组学、合成生物学、脑科学、干细胞等领域的突破性进展全面提升人类对生命的认知、调控和改造能力。比如,基因测序成本以超过信息领域摩尔定律的速度下降,2003年全球完成人类基因组测序花了13年、耗资27亿美元,目前只要几百美元、1小时左右就可完成。CRISPR/Cas9技术获得了2020年诺贝尔化学奖,这项技术已经成为基因编辑最有效、最便捷的工具,广泛应用于生命科学研究和临床研究。

此外,其他各学科领域也呈现出群发性的突破态势,如能源领域正待向绿色、低碳、安全、高效的方向转型,可再生能源在核能、大规模储能、动力电

池、智慧电网等成为重要发展方向;新材料领域正在向个性化、复合化和多功能化方向发展,石墨烯、柔性显示材料、仿生材料、超导材料、智能材料等层出不穷;深空、深海、深地探测不断拓展,空、天、地、海一体化观测研究体系不断完善等。

2) 随着科学研究的日益深入和研究技术手段的革新,正在引发科研范式的转变。

一方面,随着技术研究向超宏观、超微观和极端方向发展,重大理论发现和科学突破越来越依赖于先进的实验装备和重大科技基础设施等科研条件的支撑。例如,冷冻电镜的应用大大提升了生物大分子结构研究的效率。据统计,物理学和化学等领域的诺贝尔奖约有一半与重大科技基础设施有关;近20年来,国际上用同步辐射研究蛋白质大分子结构的成果大约平均每3年就获得1次诺贝尔奖。近年来,中国布局建设了中国天眼、P4实验室、上海光源、全超导托卡马克核聚变装置等一批具有世界先进水平的重大科技基础设施,将为基础前沿研究提供有力支撑,其中中国科学院建设运行的有33个,约占全国总量60%,中国天眼在贵州已经发现了240多个脉冲星,对快速射电暴研究也有突破性的进展。

另一方面,依据数据驱动的“第四范式”兴起,化学、生物学等传统依赖实验数据的学科,逐渐开始利用大数据和计算机仿真模拟进行研究。基于海量数据计算,可以发现传统研究方式下很难发现的新规律、新现象。例如麻省理工学院团队利用深度学习模型几天内就筛选超过1亿种化合物,发现强大的新型抗生素,可以杀灭多种致病细菌,包括对已知抗生素都有耐药性的菌株。

3) 科技与产业联系更加密切,互动越来越密切,技术变革正加速转变为现实生产力。

大数据、云开发、人工智能等新一代信息技术与智能制造技术、现代物流等领域相互融合步伐加快,推动传统产业加速向数字化和智能化转型,极大地提高了生产效率。如中国科学院微电子研究所研制的智能分拣机器人,1小时分拣包裹7.2万件,极大提高了物流行业效率,目前已经在全国多地投入运行。

此外,颠覆性技术层出不穷,将从根本上改变技术路径、产品形态、产业模式,创造出新产品、新需求、新业态,催生新经济增长点。比如,中国科学院在量子信息领域取得一批重大研究成果,量子通信得到广泛应用可在根本上解决通信的安全问题;量子计算机一旦突破,将推动人工智能、航空航天、药物设计等多个领域实现飞跃式发展。

4) 以“互联网+”、“智能+”为代表的数字经济蓬勃发展,驱动经济社会加速向数字化转型。

“互联网+”、“智能+”使经济活动更加灵活智慧,不断催生出新业态、新模式,深刻改变人们的生活、工作、学习和思维方式。从无人驾驶到智慧交通,从直播带货到智慧物流,从5G通信到数字货币,从网络扶贫到数字乡村,数字经济加速发展,为经济发展打开了新的空间,为产业升级提供新动力。各种智能终端、可穿戴设备不断推陈出新,远程办公、远程教育、远程医疗、无人超市、无人餐厅等飞速发展,家政机器人、养老机器人、情感陪护机器人等走进人们的生活,推动经济社会全方位数字化转型。据统计,数字经济在发达国家经济中能占60%以上,中国目前占36.2%,对GDP增长贡献力达67.7%。

5) 深化国际合作成为加快科技发展应对全球性挑战的必然选择。

当前网络信息安全、生物安全和伦理问题,核安全等科技安全问题日益凸显,公共卫生、气候变化、环境污染、粮食安全、能源安全等全人类面临的共同挑战愈发严峻,众多问题相互影响、交织,形成复杂棘手的系统性问题。这些全球性、系统性的风险挑战,深刻影响着全球每一个国家,远远超过某个国家的应对能力,深化国际合作成为解决问题的唯一出路。联合国可持续发展目标提出到2030年完成社会、经济、环境3个维度的17个全球发展目标,为国际科技合作指明了方向。

通过此次新冠肺炎疫情可以清楚地看到,科技界加强合作的重要性和必要性,通过全球科学家共同努力,大大提升了应对病毒挑战的能力和效力。比如在疫苗研制方面,全球已经有172个国家和地区加入世卫组织主导的新冠疫苗实施计划(CO-

VAX),并在快速检测、药物、疫苗研发、临床试验、病毒溯源等方面开展了大量富有成效的合作。中国科学院积极参与并作出贡献,建立了面向全球开放的2019新型冠状病毒信息库——中国生物信息库,依托中国科学院北京基因组研究所,收录超过10万条新冠病毒基因组的系列信息,相关文献3万多篇,为全球175个国家和地区提供数据服务,现已有20多万访客,数据下载超过1亿条。

### 3 把握新一轮科技革命和产业变革机遇的战略思考

一是要高度重视基础研究的重要作用,努力推动新一轮科技革命加速演进。基础研究是技术创新的源头,没有基础研究的长期储备和雄厚积累,技术创新与突破、应用与开发就成为无源之水,全球科技界应该继续加强在基础研究领域的广泛合作,积极组织实施和参与国际大科学计划和大科学工程,推动重大科技基础设施和科研数据的开放共享,才有可能尽快打破长达60年的“科学的沉寂”。

二是加强科学创新人才培养,为科技和产业发

展提供有力的人才支撑。人才是第一资源,全球科技界应在人才培养方面加强合作,特别是要适应学科交叉融合发展趋势,推动基础学科领域和信息生物材料等前沿领域的跨学科联合培养。面向未来培育更多有创新思维,有全球视野,能够引领未来科技发展的青年科技人才。

三是努力发挥科技创新在推动经济高质量发展、提高人民生活中的关键作用。科技创新和产业发展联系日益紧密,全球科技界要持续推动科技和经济发展的深度融合,科学研究要更多从人类发展的需求和重大问题挑战出发,更好地服务于经济社会可持续发展。

第四,积极推动国际科技共同体建设,以广泛的国际合作应对全人类面临的共同挑战。科技界要加强团结信任,增进理解互信,携手谋划后疫情时代的国际合作,建立国际合作方式和机制,共同应对重大传染性疾病等全球挑战,共同管控科技伦理和科技安全领域的重大风险,推动完善全球科技创新治理体系,为造福全人类作出重大的贡献。

(责任编辑 刘志远)