

世界正处在新科技革命前夜

白春礼

中国科学院, 北京 100864

科技革命有两种驱动:一种是社会需求驱动,一种是知识与技术体系内在的驱动。

到现在为止共发生了五次科技革命,其中两次是科学革命,三次是技术革命。

在 16 世纪和 17 世纪,以伽利略、哥白尼、牛顿等为代表的科学家,在天文学、物理学等领域带来了世界第一次科技革命。这场前后经历 144 年的科技革命是近代科学诞生的标志。

18 世纪中后期,蒸汽机、纺织机的发明及机器作业代替手工劳动带动了第二次科技革命,这也是世界上第一次产业革命,蒸汽机的广泛使用推动了英国的工业革命与现代化。

在 19 世纪中后期,以电力技术和内燃机的发明为主要标志的第三次科技革命,带动了钢铁、石化、汽车、飞机等行业的快速发展。

19 世纪中后期至 20 世纪中叶,以进化论、相对论、量子论等为代表的科学突破引发了第四次科技革命,也促进了自然科学理论的根本变革。

到了 20 世纪中后期,以电子计算、信息网络的出现为标志带来了第五次科技革命。科技革命现在还在持续地发展。

科技革命源于社会需求驱动,又极大地促进了社会和经济的大发展。比如,在 18 世纪中后期,当时英国工业生产能力相当于全世界的 40%~50%,欧洲大陆和美国也在那时先后开始了工业化进程。19 世纪中后期发生的第三次工业革命,也是第二次技术革命,德国迅速跃升为世界工业强国。德国在化工方面发展很快,我们现在的一些基本化工、原材料,包括化肥在内的很多技术都源于德国在那个时候的创新。美国在世界工业生产中的份额于 1890 年上升到世界第一位,日本也从那个时期起建立了工业化基础。到 20 世纪中后期的第五次科技革命,美、德、法、英等进入工业化成熟期,日本在这个阶段抓住了机遇,实现了经济的腾飞,1950—1985 年经济增长高达约 120 倍。

科技革命的另一驱动来源于知识与技术体系的内在矛盾。20 世纪初发生的第四次科技革命的标志性成果包括:量子力学、相对论、宇宙大爆炸学说、DNA 双螺旋结构模型、板块构造理论、计算机科学等。但 20 世纪下半叶以来,从科学

角度来看,未能出现可以与上述六大成果相提并论的理论突破或重大发现,“科学的沉寂”已达 60 余年。

当今世界科学技术发展呈现出多点、群发突破的态势,某些领域将会引发群发性、系统性突破,产生一批重大理论和技术创新,涌现一批新兴交叉前沿方向和领域,进而引发新一轮科技革命。

新科技革命孕育重大创新突破

新一轮科技革命和产业革命涉及科学和技术的深刻变革,为中国科技发展提供了难得的机遇,也带来了前所未有的挑战。科技工作者身处时代潮流,也肩负着伟大历史使命,理应将目光投向黎明,理应勇于获得新一轮科技革命的“第一颗蘑菇”,敢于成为“第一只领头羊”。作为中国的科技工作者,如何能够在新一轮科技革命中抢得先机,不再像前几次科技革命那样落后于人,需要我们认真思考。

新一轮科技革命会在哪些领域发生呢?应该在哪些领域进行前瞻性部署呢?坦率地说,对于新科技革命的重大创新突破可能发生在哪些方面,科学预测也不会很准。有些科学家回顾过 50 年前做的一些科学预期、技术预见,发现很多都不准,但是,大的发展方向是可以预期的。

中国科学院组织了多名专家,用了大约 1 年时间来研究未来可能发生重大突破的领域。我们认为在一些基本科学问题以及能源与资源、信息网络、先进材料和制造、农业以及人口健康等领域,孕育着新科技革命的重大突破口。

第一,在宇宙演化、物质结构、意识本质等一些基本科学问题上,孕育着新的科技突破。

首先,在宇宙演化方面,揭开暗物质、暗能量之谜,将是继哥白尼的日心说、牛顿的万有引力定律、爱因斯坦的相对论及量子力学之后,人类认识宇宙的又一重大飞跃,将引发新的物理学革命。

2012 年 3 月,中国科学家通过国际合作,首次实现了中微子第三种振荡模式的精确测量。第三种中微子振荡到底存在不存在?测量的精度能否达到十分肯定的程度?科学界对此抱有很多期待。中国科学院、国内有关机构及国际合作者在东亚湾中微子实验中发现的中微子振荡模式,标志着

中国在粒子物理研究的最前沿取得了世界领先的重大成果。最近,它被列为美国 *Science* 杂志评选出的 2012 年世界十大科技突破之一,也是以中国科学家为主研究的成果首次被国外评为当年度十大科技突破之一。2012 年 7 月 4 日,欧洲核子中心向全球宣布,找到一种新亚原子粒子,与之前预言构成质量的“上帝粒子”(希格斯玻色子)特征“一致”,这项成果也被 *Science* 杂志评为 2012 年世界十大科技突破之一。

其次,在物质结构方面,随着科学家已经能够对单粒子和量子态进行调控,量子世界的探索从“观测时代”走向“调控时代”,量子计算、量子通信、量子网络、量子仿真等领域将实现变革性突破,也可以成为解决人类对于能源、环境、信息等需求的重要手段,其意义不亚于量子力学进展导致的 20 世纪信息革命。

例如,2012 年诺贝尔物理学奖获得者在量子物理学方面取得了卓越成就。法国的塞尔日·阿罗什打造出一个微波腔,借助单个原子在微波腔中会辐射或吸收单个光子的特性,实现了操纵单个光子。美国的大卫·维因兰德制造出了一个离子阱,先用光来俘获离子,然后用激光冷却离子,进而对离子进行测量和控制。两位物理学家用突破性的实验方法,使单个粒子动态系统可被测量和操作。

再次,在意识本质方面,探索智力的本质、了解人类的大脑和认知功能,是当代最具挑战性的基础科学问题,一旦突破将极大深化人类对自身和自然的认识,会引起信息与智能科学技术新的革命。

例如,2011 年 4 月 11 日, *Nature* 杂志刊载:英国科学家开发出一种新技术,绘制出小鼠视觉皮层的部分神经连接“布线图”,使揭开大脑之谜、开发出计算机大脑模型的梦想离现实又近了一步。2011 年 8 月,国外媒体报道:美国国防预研规划局(DARPA)研制的大脑控制机械手臂问世,它可能可以通过大脑植入微小芯片的手段,让大脑直接将指令传输给机械手臂,瞬间完成指定动作。2012 年 2 月 17 日,英国《每日邮报》报道:DARPA 正在进行一项绰号为“阿凡达”的研究项目,研制像电影《阿凡达》所展现的,用人脑远程控制机器人军团,实现让人类士兵用思维控制机器人参战,使真人远离战场。随着科研成果不断进步,对意识本质的探索也逐渐深入。

第二,在能源与资源领域,人类必然从根本上转变无节制耗用化石能源和自然资源的发展方式,迎来后化石能源时代和资源高效、可循环利用时代。

可再生能源和安全、可靠、清洁的核能将逐步代替化石能源,成为人类社会可持续发展的基石。通过对未来全球能源结构的分析和预测,欧洲研究报告预计到 2050 年全球一半的能源需求将通过可再生能源来满足。

中国在能源资源研究方面与国际先进水平还有较大差距。世界上一些矿业大国矿床的勘探深度达到 2500~4000 米,而我国已有矿床的勘探深度大都小于 500 米。这是因为中国

探矿技术手段与这些发达国家相比还有很大差距。例如,美国使用人工地震和水平钻探等开采技术,成为唯一大规模商业开采页岩气的国家。2010 年,美国页岩气产量达到 1378 亿立方米,占美国天然气产量的 25%左右,近 5 年年均增长 48%,200 多家企业掌握了页岩气开采技术,推动了一场“页岩气革命”。美国称,不依靠中东石油,依靠页岩气可以保证自己能源的供给,甚至可以输出页岩气的开采技术。在这方面,中国还存在一些技术瓶颈,而且不可能从美国直接购买页岩气开采技术。这不仅是因为技术昂贵,最主要是美国页岩气开采技术需要耗费大量能源和大量水,可能不适合中国实际。

第三,在网络信息领域,信息技术和产业正在进入一个转折期,2020 年前后可能出现重大的技术变革。

目前,宽带网络、无线网络、智能网络继续快速发展,超级计算、虚拟现实、网络制造与网络增值服务等产业突飞猛进。集成电路正在逐步进入“后摩尔时代”,计算机逐步进入“后 PC 时代”,“Wintel”平台正在瓦解,多开放平台正在形成。互联网将进入“后 IP 时代”,云计算兴起是信息技术应用模式的一场变革,信息快速发展改变了目前学习、科研、制造、贸易等的形式。2011 年,淘宝网和天猫在线购物交易额达 6000 多亿元,这说明网络商业化的模式也在改变着人们的生活方式。

但是,是否现有信息网络就够用了呢?肯定不是。未来的信息技术将要应对规模、性能、能耗、安全四大技术挑战。再过十几年,到 2025 年,可能会有百亿级用户、万亿级的终端,而我们现有的技术无法支撑,这就是规模上的挑战;到了 2025 年,我们需要 ZB(1021)级数据处理,采用现有技术需要 100 亿台服务器,但是现在不可能有那么多台服务器,这就形成了对性能的挑战;谷歌数据显示每次点击需要耗费 0.0003 度的电,到 2025 年,采用现有技术的年用电量将是 2009 年全国发电量的 3 倍,这无疑是对能耗的挑战;现在存在攻击、信用窃取和监管问题,2025 年将颠覆传统信息网络的安全边界,延伸到物理世界和人类世界,不可避免的要面对安全挑战。人机物三元融合的新应用正逐步将现有 ICT 技术推到极限,变革势在必行。

第四,在先进材料和制造领域,绿色和智能将凸显。

材料和制造是人类文明的物质基础,而且制造业是国民经济的产业主体。智能制造从分子层面设计、制造和创造新材料,与直接数字化制造结合,将产生爆炸性的经济影响。未来 30~50 年,能源、信息、环境、人口健康、重大工程等对材料和制造的需求将持续增长,先进材料和制造的全球化、绿色化、智能化将加速发展,制造过程的清洁、高效、环境友好日益成为世界各国追求的主要目标。

新一代材料的发现和应用可以改变生产、生活的很多方面。例如,新一代石墨烯是目前最薄、最硬的纳米材料,几乎完全透明,电阻率比铜和银更低。石墨烯的研究成果在 2010

年获得诺贝尔物理学奖。预计 2024 年前后,石墨烯器件可望替代 CMOS 器件,应用领域包括纳电子器件、光电化学电池、超轻型飞机材料等。基于石墨烯开发出新型储能设备,可将充电时间缩短到 1 分钟;作为导电材料和导热材料,可用在光伏或光热产业;各国正在加大研发投入,推动商业化。

第五,农业领域将在一些基本的问题上取得突破。

农业将进入生态高效可持续发展时代,不仅要继续发挥其保障食物安全和国民经济发展等传统功能,还将担负起缓解全球能源危机、提供多样化需求和优良生态环境等新使命。

例如,在生物多样性演化过程及其机理,高效抗逆、生态农业育种科学基础与方法,营养、土壤、水、光、温与植物相互作用的机理和控制方法,耕地可持续利用科学基础,全球变化农业响应和食品结构合理演化等方面取得突破,将能够保证农业生态高效和可持续发展。另外,分子育种成为农业前沿科技和热点。目前,中国的大豆、玉米等很多种业都是被国外公司控制,国家的育种面临危险和挑战。农业分子育种是战略性新兴产业。当前主流的单基因转基因技术尽管较为成熟,但作物性状改良范围和空间有限,未来的发展方向是多基因控制、多目标嵌入的农业分子模块育种。

第六,人口健康领域孕育重大突破和产业发展。

预计本世纪中叶,全球人口将达 80~100 亿。人类将面临传统传染病新的变异和传播、新的感染性疾病、心理障碍和精神性疾病、代谢性疾病、老年退行性疾病的挑战。必须提高人口质量,保证食品、生命和生态安全,通过疾病早期预测诊断与干预、干细胞与再生医学等研发,攻克影响健康的重大疾病,将预防关口前移,走一条低成本普惠的健康道路。

目前,重大疾病治疗,首选常规药物,但很难彻底治愈;其次是进行手术,一旦器官在手术中被割掉,就要进行器官移植,但器官来源是有限的。基于干细胞的再生医学,有望解决人类面临的神经退行性疾病、糖尿病等重大医学难题,引发继药物、手术之后的新一轮医学革命,正在孕育重大创新突破。美国 FDA 已批准干细胞治疗和用于心脏病和急性脊髓损伤的临床研究。干细胞产业也随着制药企业和风险投资的大量介入,逐步进入成熟阶段,替代器官、干细胞药物研发等将促进干细胞新兴产业快速发展。

在上述的六个领域中,任何一个领域的突破性原始创新,都会为新的科学体系建立打开空间,引发新的科学革命;任何一个领域的重大技术突破,都有可能引发新的产业革命,为世界经济注入新的活力,引发新的社会变革,加速现代化和可持续发展进程。

科技创新与产业变革往往相伴相随,中国科学院特别是应用型研究所要密切关注新的科技革命与产业革命发展趋势,紧密结合市场需求,努力促进和引领变革。国外学者和领导人非常关注“新一轮工业革命”。美欧学者预言,一种建立

在信息技术和清洁能源相结合基础上的新一轮工业革命即将到来,将使全球技术要素和市场要素配置方式发生革命性变化,将有可能对以低成本劳动力密集为特征的中国制造业造成冲击。

目前,3D 打印技术开始应用在设计领域,可在数小时内完成一个磨具的打印,节约了产品到市场的开发时间。中国已经有一些这方面的工作,但还没有很多的自主知识产权。3D 打印技术涉及信息技术、网络技术和新材料等,正向更广泛的领域应用拓展,将有可能带来一些新的技术革命。另外,大数据作为一门新交叉学科也是我们面临的新挑战。2011 年全球创建和复制数据总量达到 1.8ZB。2012 年 3 月,美国启动“大数据研究和发展计划”,把大数据称为“未来的新石油”,六大科研机构合力研发核心技术、整合相关应用人才,大力支持协同创新。我国要在应对“新一轮工业革命”、“3D 打印技术”、“大数据浪潮”等方面,抓紧研究、统筹布局、积极推进。

迎接新科技革命的创新战略

世界主要国家为迎接新科技革命,纷纷把科技作为国家发展战略的核心,出台一系列创新战略和行动计划。他们都加大了科技创新投入,在新能源、新材料、信息网络、生物医药、节能环保、低碳技术、绿色经济等重要领域加强布局,更加重视通过科技创新来优化产业结构,驱动可持续发展和提升国家竞争力,力图保持科技前沿领先地位,抢占未来发展制高点。

美国在高水平就业、振兴制造业、促进经济健康发展、发展清洁能源、保持强大繁荣和全球影响力等方面采取了一系列战略行动;日本实施应对资源匮乏、老龄化社会和经济停滞危机的新增长战略,致力于发展绿色经济;欧盟提出智慧增长、包容增长、可持续增长、力图建立创新型新欧洲,在发布了“地平线 2020”后,最近又发布了“Global European 2050”,以复兴欧洲为目标,提出了中长期研发重点和政策,力图掌握未来发展主动权;俄罗斯实施促进经济由资源型向创新型转变的战略;印度则提出 2020 年成为知识型社会与全球科技领导者。

世界工业化进程使得发达国家生活水平大幅度提升,但是我们也要清醒地看到:200 多年的工业化仅使不到 10 亿人实现了现代化,却已使自然资源和化石能源面临枯竭的威胁,使自然环境遭受巨大破坏。面向 21 世纪中叶,中国、印度在内的 20~30 亿人致力实现现代化,大部分发展中国家在大力发展工业化,按照传统的发展方式,将给自然资源供给能力和生态环境承载能力带来更大的挑战,难以为继,迫切需要开发新的资源来源,创新发展模式和发展途径,创新生产方式和生活方式。世界的现代化进程迫切需要一场新的科技革命和产业革命。