

2019年，新科技革命与产业变革持续深入，科技创新在累积中逐渐进入“加速道”。

重点领域的主要进展

一是认知物质世界深入，实现多个“首次”验证。首张黑洞照片，验证了爱因斯坦的广义相对论，这是1919年史瓦西发现第一个解析解以来首次得到实验证实。系外行星搜寻进展显著，TESS卫星发现平均每颗恒星几乎都有一个行星。欧空局发射了其首个研究系外行星的卫星。首次发现系外“超级地球”，一个处于宜居带的含水行星。发现海王星的新卫星，1989年旅行者二号掠过时还没发现，有可能是海卫八被撞击后形成的。史上第一张量子纠缠照片，使人类终于亲眼看见这种“幽灵般的超距作用”。第三种五夸克粒子被发现。最轻中微子质量被限定。超导材料最高临界温度刷新，在超过100万倍大气压和250K（约为-23℃）的温度下，氯化钬会变成超导物质。为纪念国际理论与应用化学联合会成立100周年和元素周期表诞生150周年，该会发布了“化学十大新兴技术”。

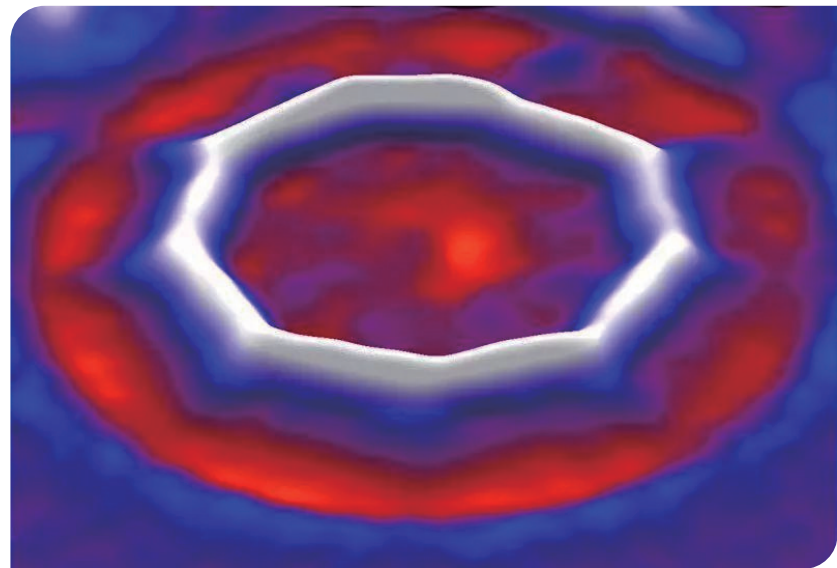
二是太阳系探测成果丰富，月球火星成为焦点。火星探测，NASA公布了火星最易获得水冰的区域，宣布“机遇号”彻底失联，“洞察号”监测到了火星震，“好奇号”完成了对夏普山的初步探索，Mars2020正在准备之中。“帕克”太阳探测器成功地进行两次近日点飞掠，并发布了首批成果。“朱诺号”在木星南极附近发现了一个新的气旋风暴，它与其他五个气旋围绕一个超大气旋并组成了一个超级六边形。“隼鸟2号”在小行星“龙宫”两次着陆采样，还使用钨弹和铜质炮弹撞击器获得表层和深层样本，11月开始返回地球，日本深空探测实力可见一斑。OSIRIS-REx号抵达小行星“贝努”附近。新视野号拍到了最遥远的天体小行星“天涯海角”。以色列和印度的月球探测都遭遇了失败。美国宣布将重返月球，并建立永久基地。

三是空天科技进展显著，商业航天蓬勃发展。马斯克的SpaceX以13次

发射继续领跑商业发射，2019年首次发射是将10颗铱星全部送入低地轨道，补齐了75颗铱星；两次实现一箭60星，低轨道星链走进现实；星际飞船原型发生爆炸。传统的波音、洛马、诺格三家巨头仅有8次发射。波音CST-100星际航线未能与国际空间站对接。“光帆2号”成为首个在轨受控运行的太阳帆飞行器。737Max因事故而停飞，人们对人工智能系统有所担忧。洲际航班呈现越来越明显地呈现“去枢纽化”特点，空客宣布超级飞机A380将于2021年停产。大国竞相发展高超音速打击武器，俄罗斯“先锋”系统开始作战值班。印度成为世界上第四个拥有能摧毁卫星的国家。美国空天飞机X-37B五号机飞行780天后返回地球，再破纪录。

四是生命起源再获新知，生命过程人工重现。培养出远古深海古菌，填补了生命“缺失环节”。通过对墨西哥尤卡坦半岛的撞击地点和美国发现的几块化石的检测，基本弄清6600万年前导致恐龙等76%物种灭绝的撞击中，24小时内发生的一系列事件。通过分析线粒体，首次论证现代人类确切起源地。在菲律宾发现人类的近亲物种——生活在5万到6.7万年前“吕宋智人”。一项长达10年的研究发现，严重营养不良会导致肠道微生物群不成熟，使得数百万儿童无法完全康复。马斯克的Neuralink公司发布脑机接口系统，可以向大脑植入超细柔性电极。首次合成出包含8个碱基的DNA。首个会“呼吸”的肺气囊模型，由水凝胶3D打印制成。3D打印出首个具有细胞、血管、心室和心房的微型活性心脏。首次实现死猪大脑恢复部分细胞功能。人造肉汉堡上市，培育肉技术持续熟化。

五是生物技术促进健康，恶性疾病渐被治愈。埃博拉病毒向第二国蔓



原子力显微镜拍摄出的C18分子的3D图像 图片来源：IBM研究院

延，首个埃博拉病毒疫苗获批。基因药物可使90%的囊性纤维化实现慢性病化。第二例艾滋病治愈病例或已出现，停药18个月后仍未检测到HIV病毒。瞄准无序蛋白质的靶向药物已被筛选数千种，有望用于治疗骨髓瘤、肺癌和阿尔茨海默病等。定制癌症疫苗推进临床试验。免疫疗法进入了更加精准和广谱的2.0时代。检测诊断技术进步使疾病得以更早发现。通过对母亲血液中的RNA测序，可以识别早产。液体活检、肠道显微胶囊、可穿戴心电仪、基因大数据等有助于更早确诊。新型多功能基因组编辑技术“先导编辑”出现，精度效率更高、更少脱靶。首个采用ESC-GaINAc递送技术的RNAi药物获批，核酸药物RNA技术迈入新阶段。

六是算力存储创新突破，网络通信快速演进。谷歌首次实现“量子霸权”，只用了约200秒，就完成了经典计算机1万年才能完成的任务。英特尔

的存算一体化芯片比传统CPU快1000倍，能效提高1万倍，向“模拟大脑”迈进了一大步。全球首个雾计算参考架构国际标准IEEE 1934发布，云（计算）雾（计算）边（缘计算）将构成物联网时代多层次计算架构。全球多国开通5G通讯网络服务。随着VR/AR、5G、预测性AI算法、触觉传感器等成熟并融合，“远程呈现”已基本就绪。最后一批IPv4地址被分配完毕，转向IPv6成为唯一选择。“万物DNA”材料出现，原始“兔子”所含的DNA被解码，并稳定复制了五代。全球首个全自动DNA数据存储和检索系统上线。区块链技术应用用于食品供应链溯源，能将受污染的食品立即从流通中移除，精准销毁有问题的库存商品。

七是开发应用强化学习，智能水平不断提高。AI程序在德州扑克中击败了最优秀的人类玩家，具有里程碑

式的意义。“深度角色”成为首个在敌友不明的多玩家游戏中战胜人类玩家的AI程序。捕捉语义关系的新技术正使机器更好地理解自然语言，社交机器人在曲折中走向成熟。通过模拟环境中的强化学习，灵巧机器人能敏捷地抓取并转动魔方。开发出模拟生物细胞集体迁移的机器人，为研制大规模群体机器人系统提供了全新途径。通过强化学习可以让机器人几乎能像动物一样“思考”和快速学习，开发出了“在哪儿跌倒就在哪儿爬起”的机器狗。

八是生态环境退化堪忧，能源新兴技术崛起。“地球之肺”燃烧数周，导致亚马逊大片雨林消失，估计至少需要20~40年才能恢复。联合国气候大会未取得理想成果。首次发现格陵兰岛的冰下释放甲烷。一份长达1500页的报告认为，生物多样性比想象中退化更快。全球鱼类捕获物与微量元素营养缺乏的关联图谱绘就。可降解生物塑料、控释肥料、室温下二氧化碳气体变电池、低成本捕获二氧化碳、无下水道卫生间等环境友好技术备受重视。全球首座浮动核电站“罗蒙诺索夫院士”号正式启航。更不易发热、更少氢释放的新型核反应堆、可控核聚变受追捧。液流电池、氢燃料电池、热能网格存储器-多结光伏设备、多孔岩石储电等新型可再生能源储存方法得到开发。

为发现“异常”和实现突破而酝酿累积

2020年，世界进入20年代，这是许多科幻片设定的年份。预测大部分落空但又与现实相去不远。新科技革命与产业变革还处于“用尽存量知识”和“发现异常问题”的阶段，重大科学发现尚未显现，但诸多领域的

用伦理治理推动负责任的科技创新

核心阅读

近年来，随着中国在一些科技领域从跟跑变成了并跑甚至领跑，相关伦理问题日益突出，科技的伦理治理被提上了议事日程。我们不仅需要通过各种制度、机制、监管和审查，将科技活动所必须遵守的诸如价值准则落在行动中，还需要从根本上平衡科技创新和伦理上的适应性，加强面向科技工作者和公众的科学伦理教育，构建起既与国际接轨又符合中国国情的科技伦理治理体系。

美国文化大师爱默生有一句名言：“如果一个人的捕鼠器制作得比他的邻居好，那么，即使他将房子建在森林里，人们也会在他门前踏出一条道来。”科学家、工程师和技术研究人员乃至决策者们，往往十分偏爱这一名言中包含的乐观主义思想，希望任何一项新的科学技术都能够平稳地为人类在世界上踏出一条道来。然而，20世纪中叶以来科学技术发展的现实告诉我们，这世上恐怕没有什么平坦的科技通途。

时至今日，科学技术早已脱离了“纯科学”的状态，明显渗透了资本利益，成为谋求社会发展和经济增长的工具。科学、工业和商业交汇成了一种联合体。伴随着经济的全球化，战争精神和商业精神的融合达到了顶峰。于是，在资本疯狂的扩张本性驱使下，整合成一体的现代科学和技术也无限地拓展着自身的疆野。在这个过程中，现代科技不断地体现出自身在伦理上的双重性。它一方面设计制造出各种造福人类的产品，另一方面又不断挑战着人们传统的价值理念和道德伦理规范，让科技产品的消费者和使用者，乃至生产者自身都直接或间接地承受着科技发展的影响。由此，相应的伦理和社会议题就成了科技无限向前拓展所必须面对的问题。

科学共同体承担社会责任的困境

在科学家作为社会角色出现的很长一段时间内，科学家的责任还只是对真理的追求，并不存在社会责任。

组织（公司或政府等）的科学家和工程技术人员，他们个人是很难与组织的力量相抗衡的，个体科研工作所能承担的只能是有限的责任，不可能对一切负责。所以，科技发展带来的社会责任由谁来承担、如何去实现，在今天变得格外复杂。建立在个体主义建设基础上的近代西方伦理学，总是试图把事情归结为单一的原因，把责任归结为个体的责任。显然，这已经无法破解现代科学共同体的责任困境了。

第二个困境是科学共同体自治模式失灵。20世纪80年代开始，大学和产业研究的联系也得到了正式的鼓励。彼时，美国通过了《史蒂文森—威德勒技术创新法》和《拜杜法案》这两部旨在鼓励创新的法律，打破了科学与产业之间的边界。经济力量和金融利益强势渗透到了科学之中。这一方面给科技创新带来了强劲动力，另一方面也对科学事业一直以来所推崇的认知规范和伦理规范提出了挑战。一些科学技术工作者若伦理意识不强，在巨大利益诱惑面前，难免铤而走险。基因编辑婴儿的诞生即是一例。众所周知，为了回应社会关注和质疑，中、英、美三国生物科学家们曾效仿当年的阿西洛马会议，于2015年召开了第一届人类基因组编辑国际峰会并达成共识：除非相关安全性和有效性问题获得解决，除非关于拟采取应用的适当性达成广泛社会共识，否则暂停人类遗传性基因编辑技术的临床应用。这展现出了与会科学家们高度的社会责任感。但2018年11月，中国科学家贺建奎就罔顾这一共识，公然挑战人类社会的底线，制造了世界首例基因编辑婴儿，将整个中国科学界乃至基因编辑技术置于伦理争议的风口浪尖。这表明，当科学技术和产业发展紧密关联，面对巨大利益诱惑，仅仅依靠科学家的道德自觉或科学共同体自治，不足以防范科学技术风险，更遑论维系公众对新兴科技发展的信任。

伦理治理的兴起

对于诸如基因编辑技术、人工智能技术等新兴技术而言，其实验范围早已超越了传统意义上的有着地理空间界限的大学或者企业实验室了，而是整个现代人类社会。与传统的科学实验室相比，这样的社会实验一旦出

了偏差，通常很难被终止。更重要的是，新兴技术的社会试验后果波及范围可能更为广泛。所以，对这场不可逆的、规模宏大的社会实验来说，一旦发生不慎，可能会招致灾难性的社会后果。我们必须对此抱以审慎的态度。与此同时，学界已经普遍认识到，科学技术是由许多行动者共同塑造的。任何一项技术都是人、物、社会实践、机制安排、知识体系和自然的混合物。社会上的每个人都可能是这场实验的受试小白鼠，但同时也是潜在的实验设计者和践行者。科学技术的发展已经不再是科学技术人员、工程师和政策决定等人专有的事情，而是所有利益相关者需要共同参与的事情。曾经被忽视的那些社会实验对象们，在科技发展过程中也需要被给予合理的发言权。这意味着：面对新兴技术，我们并不是只有考虑是否接受或者是否可取的份儿——或者过早地拉响警报，或者等不良后果出现之后才做些事后诸葛亮的评判。代替之，伦理学以及有伦理关切的公众可以在科学技术的发展过程中扮演更加积极的角色，参与科学技术未来的建构和塑造。

“伦理治理”理念在政策界的兴起恰好呼应了新兴科技发展对改变传统科技决策方式的呼吁。长期以来，英语中的“治理”一词与“统治”交叉使用，主要用于与国家公共事务相关的管理活动和政治活动。20世纪90年代，经济学、国际关系、组织社会学、公共管理等多个学科中掀起了有关“治理”的争论，赋予了“治理”以新的含义，将“治理”同“统治”区分开来。其中，统治是政府运用政治权威，通过发号施令、制定政策和实施政策，对社会公共事务实行单一向度的管理；治理则是建立在市场原则、公共利益和认同之上的一个上下互动的管理过程，主要通过合作、协商、伙伴关系、确立认同和共同的目标等方式实施对公共事务的管理。进入21世纪以来，欧盟和美国召开了一系列有关“科学与治理”的会议，并发布了相关的文件，将“治理”理念引入科技政策领域，用以描述科学、技术和政治之间不同的特性、流动的合作和互惠的影响，特别是强调民主参与、科学和广泛社会问题之间的关系，以及冲突和争论的解决办法。此后，在生物医学技术的治理议题研究过程中，“伦理治理”理念被提

科技进展已呈群体性突破态势。

一是智能泛在。从感知智能迈向认知智能。量子计算进入攻坚期。极高密度存储新技术得到开发。芯片开源架构RISC-V更受欢迎。5G与AI、物联网等融合加速。智能机器人在生产协作、生活服务、工作巡检等多方面应用。自动化物件、实用型区块链等将得以发展。深度造假、隐私泄露等成为困扰。

二是健康长寿。更多恶性疾病将被慢性病化，健康衰老新成趋势。单细胞、类器官、免疫治疗、基因编辑、智慧移动医疗、个体计量等持续发力。对生命过程的模拟和应用更深刻。合成酵母2.0将出现。利用动物培育可移植的人体器官将取得进展。培育肉在需求驱使下发展加速。据估计，世界人口数量将在2050年达到98亿，肉类消费会比2005年多70%。

三是空间延展。深空深海深地和物质深层的研究与开发应用将加速。更广泛地搜寻类地系外行星。2020年将是火星探测发射年。商业航天日臻成熟。更多暗物质探测器将启动运行。找出轴子将可能成为未来10年的重点。深远海、地球深部的探测与研究将取得新进展。

四是能源转型。第26届联合国气候变化大会引人注目。据认为，本世纪需去除高达1万亿吨的二氧化碳。清洁能源料获更多支持，风光电成本持续下降将可能迎来重要拐点。磁悬浮、无人机等新型交通物流工具开启应用新阶段。生物燃料成本更具竞争优势。清洁氢能受追捧。固态电池动力汽车原型将发布。

人类社会正在经历百年未有之大变局。100年前的20年代，科技进入到一个“黄金时期”。科技革命与全球政治之间互为影响，促进科技突破极限、点亮新的“科技树”，将需要前所未有的宏大协作而非对抗。科技，不断向上；科技，必将向善。



出，希望通过吸收“治理”对公正、民主的多元对话和协商机制的强调，促使有关的各利益相关者都参与到努力解决科技发展的社会和伦理议题的过程中。

用伦理治理推动负责任的科技发展

如前所述，后学院科学时代，面对日新月异科技发展所带来的复杂社会和伦理问题，将所有责任全部放在科学共同体身上，既不可能，也不现实。伦理治理的理念则拓展了“责任”的概念，将个体责任转化为集体责任，更将通常被指责为过于理想化或者无能的伦理，变成了一种必需的调节手段来前瞻性地预防不良社会后果，以确保科技负责任的发展。

欧美等国在纳米技术、合成生物学等具有高度不确定性的新兴技术发展中，就尝试采取了各种形式的伦理治理机制，把公众的忧虑和关切纳入科技政策考虑范围，与各个利益相关者进行对话，在实践中消除专家知识和公众之间的差距，取得了较好的实践成效。这表明，科技的伦理治理是当前人类社会应对科技高速发展所带来的伦理问题的有效策略。

近年来，随着中国在一些科技领域从跟跑变成了并跑甚至领跑，相关伦理问题日益突出，科技的伦理治理被提上了议事日程。2019年，中央全面深化改革委员会第九次会议审议通过国家科技伦理委员会组建方案，十九届四中全会也作出健全科技伦理治理体制的决定。科技的伦理治理由此成为了中国国家治理的一项重要内容。伴随着中国5G技术和区块链技术的快速发展，新兴技术给我们带来的各种伦理挑战将接踵而至。接下来，我们不仅需要通过各种制度、机制、监管和审查，将科技活动所必须遵守的诸如价值准则落在行动中，还需要从根本上平衡科技创新和伦理上的适应性，加强面向科技工作者和公众的科学伦理教育，构建既与国际接轨又符合中国国情的科技伦理治理体系。

