

中国5G发展现状与未来趋势

□ 黎文娟 乔 标 邵立国

第五代移动电话行动通信标准，也称第五代移动通信技术，英语缩写为5G。与4G相比，5G具有更高的速率、更宽的带宽、更高的可靠性、更低的时延等特征，能够满足未来虚拟现实、超高清视频、智能制造、自动驾驶等用户和行业的应用需求。目前5G还处于规划阶段，概念和技术未形成统一的标准。我国正大力开展5G技术与产业化的前沿布局，在多个领域取得了积极进展，为抢占5G发展先机打下坚实基础。

我国5G发展现状

我国移动通信技术起步虽晚，但在5G标准研发上正逐渐成为全球的领跑者。我国国家在1G、2G发展过程中以应用为主，处于引进、跟随、模仿阶段。从3G开始，我国国家初步融入国际发展潮流，大唐集团和西门子公司共同研发的TD-SCDMA成为全球三大标准之一。在4G研发上，我国已经有了自主研发的TD-LTE系统，并成为全球4G的主流标准。5G方面，我国政府、企业、科研机构等各方高度重视前沿布局，力争在全球5G标准制定上掌握话语权。中国5G标准化研究提案在2016世界电信标准化全会（WTSA16）第6次全会上已经获得批准，这说明我国5G技术研发已走在全球前列。

政府层面，顶层前沿布局已逐步展开，明确了5G技术突破方向。一是我国从国家宏观层面明确了未来5G的发展目标和方向。《中国制造2025》提出全面突破5G技术，突破“未来网络”核心技术和体系架构；《十三五规划纲要》提出要积极推进5G发展，布局未来网络架构，到2020年启动5G商用。2013年，工信部、发改委和科技部组织成立了“IMT-2020(5G)推进组”（以下简称推进组），推进组负责协调推进5G技术研发试验工作，与欧美日韩等国家建立5G交流与合作机制，推动全球5G的标准化及产业化。推进组陆续发布了《5G愿景与需求白皮书》《5G概念白皮书》等研究成果，明确了5G的技术场景、潜在

技术、关键性能指标等，部分指标被ITU纳入到制定的5G需求报告中。二是依托国家重大专项等方式，积极组织推动5G核心技术的突破。国家“973”计划早在2011年就开始布局下一代移动通信系统。2014年国家“863”计划启动了“实施5G移动通信系统先期研究”重大项目，围绕5G核心关键性技术，先后部署设立了11个子课题。2016年“新一代宽带无线移动通信”国家科技重大专项，全面启动了我国5G技术研发试验，目前已完成第一阶段测试，各关键技术均通过验证。2017年国家科技重大专项中将有三项与5G相关的研发项目。根据计划时间，2017年—2018年将会全面推进中国第二阶段、第三阶段的5G技术研发试验。

企业层面，国内领军企业已获得先发优势。华为、中兴、大唐等国内领军通信设备企业高度重视对5G技术的研发布局，在标准制定和产业应用等方面已获得业界认可。如，中兴早在2014年就联合中国移动在深圳完成全球首个TD-LTE 3D/Massive MIMO基站的预商用测试，2016年开始规模部署在全球建设10张商用网络。大唐在2011年启动5G的预研，2013年提出5G关键能力指标和取值，被ITU纳入5G愿景和框架建议书的技术指标当中。此外，中国移动等电信运营商也积极布局未来5G产业，如中国移动发布《中国移动愿景2020+白皮书》，希望与各方一起，实现“连接无限可能”的愿景。华为已经在5G新空口技术、组网架构、虚拟化接入技术和新射频技术等方面取得重大突破。日前，华为polar码方案成为5G国际标准码方案，虽然只是5G标准的初级阶段，但极大地提振了我国5G标准研发的信心。

中国5G未来发展趋势

一是产品技术逐步聚焦四大应用场景。推进组归纳出未来5G应用主要集中在4个场景：高铁、地铁等连续广域覆盖场景；住宅区、办公区、露天集会等热点高容量场景；智慧城市、环境监测、智能农业等低功耗大连接场景；车联网、工业控制、虚拟现实、可穿戴设备



等低时延高可靠场景。因此，5G技术与产品开发也应重点围绕这4个场景展开，及时做好前沿技术与产品开发。

二是5G技术将激发新的消费需求。5G的一个重要特征就是可以实现“人与人、人与物、物与物之间的连接”，形成万物互联，并融合在工作学习、休闲娱乐、社交互动、工业生产等各方面。逐步丰富的消费形态将促进用户体验需求的重大变革，进一步激发出新的产业、新的业态和新的模式。为此，要充分做好技术与产品储备，及时跟踪技术与产品的动态变化，尽早布局颠覆性技术与产品。

三是产业融合变革加速。基于5G技术的支撑，跨行业的融合发展进一步加强，新型信息化和工业化将深度融合，引发产业领域的深层次变革。移动物联网场景等5G技术将渗透到消费、生产、销售、服务等各行业，推动研发、设计、营销、服务等环节进一步向数字化、智能化、协同化方向发展，实现工业领域全生命周期、全价值链的智能化管理。

未来需要重点关注的几个问题

一是要掌握5G标准建设和产业化的主动权。当前正处于5G标准化研发阶段，要继续加强与ITU、3GPP等国际标准组织的沟通，打造国际化5G试验平台，形

成全球相对统一的5G标准。未来5G的竞争不仅是标准的争夺，更是5G产业化应用水平的角逐。要提前布局5G通信基础设施建设，加强“基带芯片”等关键设备的技术突破。同时，促进设备制造商、电信运营商、测试设备制造、终端产品、网络管理等各方协同发展，为未来产业化做储备。

二是要注重垂直行业的融合创新研究。可以预见，随着5G技术与应用逐步推广，技术与行业融合将随之加速，新业态、新模式将不断涌现。要做好垂直行业对5G技术需求的跟踪研究，加强与企业和个人用户的对接，及时发现新的增长点。近期来看，车联网、工业控制、虚拟现实、物联网等将是5G重点支持的领域，要重点开展关键技术研发与应用示范，发挥5G对行业发展的信息化支撑作用。

三是要高度重视信息安全体系的构建。5G的云化、虚拟化技术能够满足移动网络海量数据的需求，为用户带来丰富业务的同时，对数据隐私和安全保护的要求也显著提高。5G的传送速率高、业务多样，更容易被黑客找到移动终端的漏洞并发动攻击。一旦漏洞被攻破，后果将不堪设想。因此，一方面要对5G的安全防护技术进行重点突破，另一方面要加强网络安全体系的建设。

科技创新

1986年，著名生物学家、诺贝尔奖获得者雷纳托·杜尔贝科首先提出了“人类基因组计划”，旨在通过解码核苷酸序列排列理清决定着人类生、老、病、死以及精神和行为等方面的全部遗传信息，为最终揭开人类遗传之谜提供重要的科学参考。自1990年美国政府出资30亿美元正式启动“人类基因组计划”以来，欧洲、日本、俄罗斯、巴西、印度和我国科学家迅速跟进，纷纷加入到此项意义重大的研究中。

而构成人类基因组蛋白质编码基因的实际数目，一直是一个值得讨论的话题。在人类基因组第一稿出来之前，科学家普遍认为人类蛋白质编码基因的最终数目在4万个到10万个之间。随着人类基因组计划的最终草案公布，蛋白质编码基因的数目被修改至2万个到2.5万个之间。此后，西班牙国家癌症中心和结构计算生物学团队研究人员再次发现，人类蛋白质编码基因数目可能只有1.9万个。

人类基因组数目虽然在缩小，但是基因组编码产生蛋白质的基因部分是不断活动的。由于同一基因可表达成多个不同结果，相互之间的交叉配合更使组合方式更加灵活多样。经过科学测定，这些接近2万个人类基因所能编码的蛋白质数量将不少于20万个。

人类的基因组就是一本将基因当作文字书写的生命史书。自然界中，一只小小的线虫也有2万个基因，拟南芥的基因数量都比人类的多，水稻基因数量竟然达到了人类的2倍多，而食用的洋葱和小麦的基因组数量更分别是我们的5倍和11倍。那么，人类基因的数量为什么这么少？

在人类基因组测序工作结束后，关于基因奥秘的探索才刚刚开始。最新研究表明，人类基因组中仅有约8.2%的基因被实际表达出来，成为了有用的组织器官，激活其他基因或调解人体内的各类反应，而其余的大部分基因都被研究人员暂时归类为“垃圾DNA”。由此可见，生物体内携带的大部分基因很有可能是无用的，这也就充分解释了为什么有些生物基因组数量比我们少得多，有些又比我们多得多。

更有趣的是，人体内仅有1%的基因控制着我们正常生活所需的蛋白质表达，其余7%的基因仅仅是起到基因调控作用，当然它们也同样重要。人类生物复杂性的来源，更多在于基因的选择性表达，而不是基因的数量。换句话说，通向罗马的条条大路大家都可以走，但最终走哪条线路，每个人都有自己的独特走法。基因组的规模大小对生物的遗传性状影响其实并不大。事实上，人类与灵长类动物在基因和蛋白质水平上的差异非常小，而灵长类动物之间的生理和发育差异很有可能是基因调控而不是蛋白质功能导致的。

至于为何还有这么多冗余基因没有被自然选择淘汰，目前一种简单解释是，自然进化可能并不完美。通过自然选择，人类相比其他生物很有可能已经筛选掉了相当一部分无用基因。今天，这个筛选过程还将随着生命的代代传递而继续进行下去。

人类基因为何这么少

□ 张乃千

其实，开展人类基因研究，不仅仅是探索人类遗传奥秘，更包含着21世纪巨大的应用前景。仅以生物制药领域为例，基因是控制制药产业的发源地和制高点，目前世界各大制药、化工和农业公司都在探索通过基因研究提升自己的竞争实力。一旦发现可以编码重要蛋白质的基因，不仅可获得该基因的专利，更借此开展相关研究开发新型药物，直接形成市场垄断以获取巨额利润。

一旦掌握了自身的遗传密码，人类就不再需要“谈癌色变”或是惶恐难以永葆青春，即使是我们与生俱来的各种生理缺陷，也可以通过控制基因来解决。到时，基因组是否会被别有用心者利用，用来改造人类固有特征甚至是带来可导致种族灭绝的基因战争，依旧值得警醒。

自从人类掌握了对基因“动手术”的神奇技能后，人类已经开始在一定范围内修改由大自然创造的各种生物。短短数年内，经过基因修改和移植的基因工程作物就已经被撒播在数千万公顷的土地上。这些经过人工改良甚至是创造出来的作物，虽然之前也进行过认真的安全性考虑，有些性状确实极大满足了人类需求，但目前的事实充分证明，因为我们对于基因的认知尚存在局限，未来经过基因修改的基因工程作物隐忧依旧存在。发生在农作物之间的基因污染已经存在，我们是否真能确保这为数不多的2万个基因组不为所动，从而捍卫住人类基因这片最后的净土，容不得半点侥幸。

科技与社会

当代世界科技

□ 王小理

多年来，生命科学一直处于高速发展阶段，点状的重大科技突破已经演变汇聚成当前江河奔涌、百川归海之势。2016年，生命科学发展的内在特征进一步凸显，具有深远影响力的事件接连发生。

精准调控生命过程已逐渐成为可能

在重大和经典生物学问题上，取得一系列重大进展。阐释生命起源、免疫系统工作原理、生殖遗传、发育演化、细胞命运调控、脑精细结构与功能等热点前沿领域有理论和认知突破。首次实验合成“核糖聚合酶24-3”的RNA分子，有力支持了诺奖得主沃特·吉尔伯特1986年提出的生命起源“RNA世界假说”。进一步揭开免疫系统秘密，发现先天性免疫系统和适应性免疫系统的关键组分相互协同发挥作用，为免疫系统起源和重大疾病治疗提供了新视角。利用先进成像技术，获得人类全部46条染色体的详细三维结构，为理解染色体的结构和功能关系提供了新可能。重新设计大肠杆菌遗传密码获成功，向设计新的生物属性迈出重要一步。第一次从实验室编程小鼠胚胎干细胞和诱导多能干细胞中，培育出功能完整的卵母细胞。最大规模地鉴定人类大脑神经性元不同亚型获得成功，为绘制人脑神经元基因活性奠定基础。

变革性生物学工具推陈出新，提供了科学研究的有力武器。新的基因编辑工具、单细胞分析技术、超高分辨率生物成像技术、光遗传学技术、高通量基因组测序等使能工具，能以更加精细、直观、可逆、高通量方式，精准分析、调控生命过程中的生物大分子结构和动态，将生物现象的分析提升到新的维度。特别是以CRISPR/Cas9为代表的第三代基因编辑技术，可快速、高效地对DNA序列进行编辑，获得“改写生命剧本的神笔”。自2013年以来，该技术风靡全球，3次入围顶级学术刊物《科学》杂志评选的年度十大突破。除技术本身的升级外，基因编辑技术的快速临床应用推进和潜在权益冲突引人注目。中国科学家宣布已于2016年7月通过伦理审批，在全球首次利用CRISPR/Cas9技术进行人体临床试验，英国《自然》杂志对其评价为“领先于世界其他正在进行的基因编辑试验”。成功制造出最简单的人造合成细胞Syn3.0，这不仅代表研发出一个用于探索生命核心功能的新的工具，也代表着对生命体的工程化改造进入新阶段。

学科交叉汇聚加速，应用型技术创新成果丰硕

生物科学与数理统计科学、物质科学、工程科学、信息科学等学科交叉汇聚趋势加速，开辟了新的技术方向及应用领域。主要变现为三个方面。

技术交叉汇聚，推进上述变革性新型生物学工具研发。特别是生物过程监测和超微观察方面工具，越来越需要整合纳米科学、材料科学方面的理论概念和技术，例如具有较高技术整合度的人体器官芯片技术。英国和美国的研究团队公布世界上第一款造价2600万美元的“人体芯片”，使用了真正的人类器官组织来模拟人体实际的生理机能。

技术交叉汇聚，加速生物科技成果的转化应用进程，巨大市场前景可期。3D生物打印、基因组医学、动植物快速定向育种、肿瘤免疫治疗、精准医疗、生物大数据与人工智能、生态修复、生物基能源等颠覆性应用的前景日益明朗。例如，在短短的数年之间，3D生物打印技术已经取得了显著进步。美国维克森林大学创建了一种ITOP生物打印机，打印出全球首个动物体可存活3D打印耳朵。可以预见，未来3D生物打印技术将在医疗健康行业体现出巨大的潜力。

基于生物学仿生的黑科技，快速跨界进入其他领域，形成潜在的战略科技、经济增长点。DNA存储、生物计算模型、脑型芯片、人造器官、生物机器人等持续引发关注。微软公司宣布在DNA存储技术方面创造新纪录，存储容量已达200MB。东芝公司开发出一款可用于人工智能深度学习的脑型芯片，这款19毫米的脑型芯片，集成32万个像神经细胞一样的电子回路，可完成人工智能所需的大量信息数据的

复杂计算、处理和深度学习任务。模仿象鼻鱼的视网膜结构、开发设计出人造感光增强器，将提高人们的夜视能力。通过对鲟鱼的生理机能进行逆向工程，科技界用活体细胞创造出了长16毫米、重10克的全球首个生物合成机器人——“机器鲟鱼”。

重大事件展现生命科技的巨大影响力

从注重成果评选的报道，如《科学》的十大突破、《麻省理工学院科技评论》十大突破性技术、世界经济论坛年度十大新兴技术，到领军人物评选，如诺贝尔奖评选、“科学突破奖”评选，从生物隐私讨论到专利所有权争夺，国际社会已经从多个角度见证了生命科技的巨大影响力。

2016年还见证了其他可能深远影响人类经济社会生活的重大生物科技及相关事件的发生。寨卡病毒疫情、高致病禽流感疫情等重大传染病如影随形，驱动相关防护性科技研发突破不断；首次发现抗粘杆菌素的超级细菌，加快耐药性认识和开发新药变得非常迫切；“国际大脑计划”启动，神经科学的时代已经到来；全球25名基因研究领域的科学家联名宣布将启动“人类基因组编写计划”，有望媲美“人类基因组计划”。我国《国家创新驱动发展战略纲要》发布，生命科学位列其中；美国“国家癌症登月计划”和“国家微生物组计划”启动，英国

《2016年合成生物学战略计划》、欧洲《海洋生物技术战略研究及创新路线图》公布，势必引发新一轮产业变革；美国发布《推动生物技术产品监管体系现代化国家战略》，这是其三十年来第一次对主要监管机构在生物技术产品监管方面的角色和责任进行全面总结，科技管理“放管服”取得新进展；微软、谷歌、IBM、“脸谱”等科技巨头跨界进入生物医疗领域，社会投资蓬勃发展等。但同时，生物技术的安全性依然是社会公众最为关注的问题。百位诺贝尔奖得主联署公开信，要求绿色和平组织不再反对转基因生物；相关智库持续开展基因驱动生态风险、基因工程作物安全性及合成生物学时代的生物防御的研究评估等。

2017的期冀：“生物科技发展观”2.0版呼之欲出

从生物科技自身发展看，生命科学与物质科学、工程科学和计算科学等学科汇聚交叉的重要性 and 可能带来的颠覆性应用已经毋庸置疑。生命科学研究工具和理念的进步，必将逐步揭开生物生老病死等现象的奥秘，复杂生命过程的微观、介观层面的规律将进一步得到展现，可望提出生物学新理论，将生物学从描述性科学转变到预测性科学时代。从应用需求看，生物科技不仅与人类健康相关，也与经济发展、社会治理、生态文明、国防安全密切

相关，且呈加速之势，但生命科学与哲学社会科学交叉的重要性尚未得到应有之重视。

将“生物科技发展观”从主要围绕人类社会基本物质利益需求的1.0版本，升级到围绕人类社会可持续发展的“生物科技发展观”2.0版本已经变得越发清晰。需要坚持创新发展和共享发展的理念，从源头上推进科技原创；坚持协调发展的理念，避免技术的滥用和误用。任何范式的转变都需要科学信念的坚守，也需要变革诸多不合时宜关系的勇气和智慧，这将包括2017年在内未来一段时期的主旋律。

知识链接

3D生物打印的核心技术是生物砖（Biosynsphere），即一种新型的精准的具有仿生功能的干细胞培养体系。它以含种子细胞(干细胞、已分化细胞等)、生长因子和营养成分等组成的“生物墨汁”，结合其他材料层层打印出产品，经打印后培育处理，形成有生理功能的组织结构。3D生物打印，截然不同与使用钛合金、生物陶瓷、高分子聚合物等原材料的工业3D打印，比如打印假牙、假肢甚至汽车、房屋等。两者根本性的区别在于活性，即3D生物打印是打印出含有细胞成分并具有生物学活性的产品。