

2015年中国重大科学、技术和工程进展

陈广仁, 吴晓丽, 刘志远, 田恬

《科技导报》编辑部, 北京 100081

摘要 本着分门别类、本刊推荐、专家遴选、宁缺毋滥、叙述事实的原则, 从国内外重要科技期刊和科技新闻媒体所报道的中国科技成果中, 按科学、技术、工程3个类别, 由《科技导报》编辑部遴选、推荐候选条目, 经《科技导报》编委、审稿人等专家通信评选, 推选出2015年中国重大科学、技术、工程进展30项。1) 2015年中国重大科学进展10项: 基于蛋白C受体标记识别出多能性乳腺干细胞; 农业技术革新促使史前人类永久定居青藏高原; 计算模拟出1种五元环石墨烯; 实验示范单光子多自由度量子隐形传态; 发现1个中心黑洞质量为120亿太阳质量、红移为6.3的超亮类星体; 理论预言和实验验证外尔半金属; 解析人类原始生殖细胞的转录组与DNA甲基组图景; 解析酵母剪接体对信使RNA前体行使剪接的结构基础; 揭示阻断机体免疫炎症过度反应的表观遗传修饰机制; 测量反质子-反质子间的相互作用。2) 2015年中国重大技术进展10项: 核电站控制棒系统验收, 核反应堆“心脏”实现中国造; 中国原创抗癌新药西达本胺获准全球上市; 中海油攻克海上“双高”气田开发世界级难题; 世界首个自主运动可变形液态金属机器人问世; 室温大气环境下单蛋白质分子的磁共振探测; 中国研发出世界首台医院中子照射器; 胶体量子点微型光谱仪研制成功; 制备出大面积高质量二维超薄 Mo_2C 超导体; 高效低成本光催化制氢材料研发成功; 中国研制出世界最高效固态量子存储器。3) 2015年中国重大工程进展10项: 中国成功研制世界先进水平航天器“发动机”; 中国首列“永磁高铁”试跑成功; EAST辅助加热系统验收; 中国新一代北斗导航卫星准确入轨; 长征六号点火发射成功, 一箭20星创亚洲之最; 首台万米级无人潜水器和着陆器4000 m级海试成功; 首架国产大飞机下线; 大型反场箍缩磁约束聚变实验装置“科大一环”建成运行; 世界最大球面射电望远镜馈源舱在贵州升舱; 中国暗物质粒子探测卫星“悟空”发射成功。

关键词 中国; 重大科学进展; 重大技术进展; 重大工程进展

从《科技导报》2004年第3期刊登“2003年中国重大科学、技术与工程进展”, 至今已连续12年遴选发布中国年度重大科学、技术和工程进展^[1-13]。为盘点2015年中国重大科学、技术和工程进展, 《科技导报》编辑部从国内外重要科技期刊和科技新闻媒体所报道的中国科技成果中, 遴选、推荐28项重大科学进展、50项重大技术进展、25项重大工程进展候选条目, 由《科技导报》编委、审稿人等专家通信评选, 根据每项进展的得票情况, 推选出2015年中国重大科学进展10项、重大技术进展10项、重大工程进展10项。遴选出的每项重大进展须为2015年1月1日至2015年12月31日间发表、公布或报道, 各项进展均按发表、公布或报道的时间先后排序。

1 2015年中国重大科学进展(10项)

1.1 基于蛋白C受体标记识别出多能性乳腺干细胞

干细胞的流失会导致退行性疾病, 表现为器官退化、过早衰老等; 而过度增殖及病变则会引发肿瘤。乳腺干细胞的病变极有可能是乳腺癌发生的重要原因之一。研究乳腺细胞的谱系将有助于了解乳腺癌发生的细胞起源。乳腺由多

种类型的上皮细胞组成, 其细胞谱系的最顶端为乳腺干细胞。然而这些乳腺干细胞至今仍未被找到, 甚至这种能分化成多种类型细胞的“多潜能干细胞”在乳腺中是否存在也受到质疑。

中国科学院上海生命科学研究院细胞生物学国家重点实验室曾艺研究组与合作者基于小鼠的研究发现, 蛋白C受体(Procr)作为乳腺中Wnt的一个新的靶点, 可唯一性标记多能性乳腺干细胞。这种蛋白C受体标记的细胞位于乳腺的基底层, 展现出上皮-间充质细胞转化特性, 且角质蛋白表达水平非常低。进一步研究显示, 这种表达蛋白C受体的细胞展现出非常强的再生能力, 可分化为所有类型的乳腺上皮细胞。而且蛋白C受体在三阴性乳腺癌(雌、孕激素受体、生长素受体阴性)中高表达, 提示这种多能性乳腺干细胞在乳腺癌发生中可能起到重要作用。该研究“刷新”了乳腺干细胞性质的现有理论, 以干细胞为切入点, 为靶向治疗乳腺癌提供了新思路、新靶点, 奠定了乳腺癌干细胞治疗应用的基础^[14]。图1为乳腺干细胞的细胞表面标记基因。相关研究论文发表在2015年1月1日《Nature》[517(7532): 81-84]^[15]。

收稿日期: 2016-02-13; 修回日期: 2016-02-20

作者简介: 陈广仁, 编审, 研究方向为科技哲学、科技传播, 电子邮箱: chenguangren@cast.org.cn

引用格式: 陈广仁, 吴晓丽, 刘志远, 等. 2015年中国重大科学、技术和工程进展[J]. 科技导报, 2016, 34(3): 13-29; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.03.001

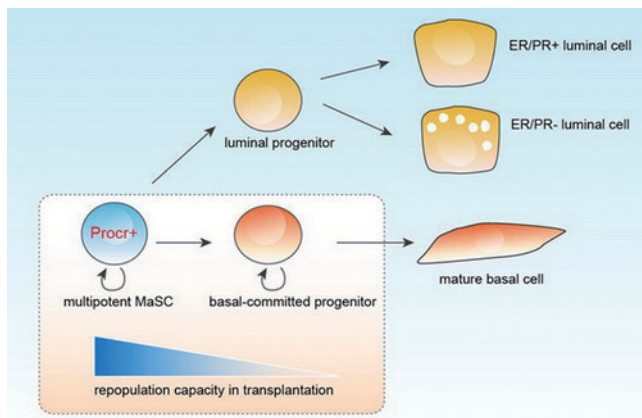


图1 乳腺干细胞的细胞表面标记基因
(图片来源:中国科学院网)

1.2 农业技术革新促使史前人类永久定居青藏高原

史前人类如何定居高海拔高寒缺氧环境是目前学术界和社会公众广泛关注的科学问题。研究人类定居青藏高原的历史,对认识人类如何适应高原极端环境以及藏族起源具有重要意义。兰州大学西部环境教育部重点实验室陈发虎和董广辉研究组与合作者通过对早前发表的考古调查报告进行梳理发现,在青藏高原地区,新石器时代遗址远远多于旧石器时代遗址,且绝大部分分布于青藏高原东北部。随后,研究小组对青藏高原东北部200余处史前遗址进行调查,选择在考古地层保存完整、文化遗存丰富的53个新石器和青铜文化遗址采集浮选样品。对浮选出的碳化植物种子测试获得63个碳14的年龄结果,并对动物及人类骨骼进行了骨骼碳氮同位素研究。

综合植物种属鉴定、测年结果、文化遗存分析及骨骼碳氮同位素研究,研究小组发现古人类大规模向青藏高原扩散发生于距今3600年之后,以大麦为主的麦作农业为当时的人类提供了长期的食物来源。研究小组认为,史前人类从低强度的季节性游猎,到大规模永久定居,再到高海拔青藏高原经历了3个阶段:距今约2万—5200年前,旧石器人群在青藏高原低强度的季节性游猎;距今5200—3600年前,粟黍农业人群在青藏高原东北海拔2500 m以下河谷地区的大规模永久定居;距今3600年以后,农牧混合经济人群向高海拔地区的大规模扩张^[16]。该结果验证了农业技术的革新克服了距今3600年前后全球气候的变冷,促使人类大规模向青藏高原定居的假说。相关研究论文发表在2015年1月16日《Science》[347(6219): 248-250]^[17]。

1.3 计算模拟出1种五元环石墨烯

碳材料是材料科学研究的前沿,碳原子由于其独特的电子构型和较小的原子半径,成键与杂化方式灵活多样,因此具有多种结构和性能迥异的同素异形体。从古老的石墨、金刚石到新近发现的富勒烯、碳纳米管和石墨烯乃至石墨炔,

碳材料的研究不仅促进了材料科学的发展,也推动了高压技术和纳米技术的进步,探索发现新的碳结构是碳材料研究的热点问题之一。此前已经发现的碳材料大多是以碳六元环作为主要结构基元而构成,除最小的富勒烯C₂₀分子以外,仅以碳五元环为结构基元而构成的碳材料尚未发现^[18]。

北京大学工学院王前研究组通过计算模拟出一种五元环石墨烯,它是一种亚稳态的二维碳同素异形体,完全由碳原子五元环构成,类似于开罗五边形瓷砖平铺于二维平面内,并具有可与石墨烯媲美的优异性质。分子动力学模拟证明,这种新的碳结构不仅在动力学和机械上是稳定的,而且能够承受1000 K的高温。由于其独特的原子结构,五元环石墨烯具有不同寻常的负泊松效应和超高的机械强度,甚至可能超过目前熟知的六元环石墨烯。此外,不同于六元环石墨烯具有金属性,其功能化需要打开一个带隙,五元环石墨烯本身即是半导体,具有一个3.25 eV的本征准直接带隙,接近于氧化锌和氮化镓等半导体材料。而且,原则上五元环石墨烯可以从碳十二面体C₂₀分子上剥离下来。将其卷起来可以形成基于五元环的纳米管,这种纳米管具有与手性无关的半导体性(图2)。将这种五元环石墨烯以不同方式折叠,可以构成稳定的三维碳十二面体孪晶结构,其带隙甚至比碳十二面体还大。这种多功能性五元环石墨烯有望在纳米电子学和纳米力学等领域有着广泛的应用。相关研究论文发表在2015年2月24日《PNAS》[112(8): 2372-2377]^[19]。

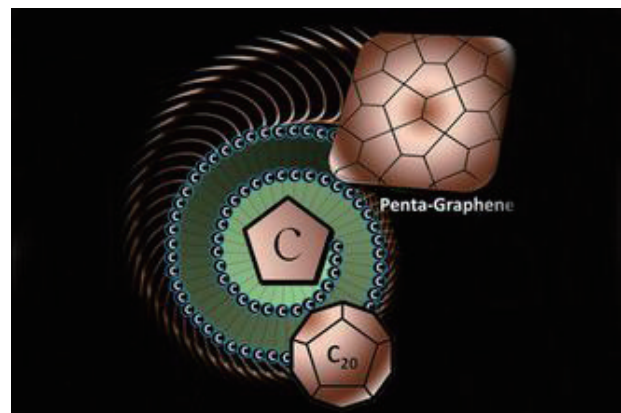


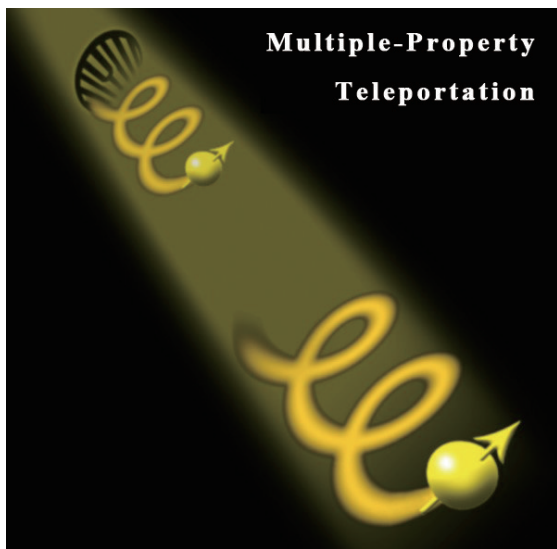
图2 从C₂₀到五边形石墨烯示意(图片来源:科学网)

1.4 实验示范单光子多自由度量子隐形传态

量子隐形传态在概念上非常类似于科幻小说中的“星际旅行”,可以利用量子纠缠把量子态传输到遥远地点,而无需传输载体本身。量子隐形传态作为量子信息处理的基本单元,在量子通信和量子计算网络中发挥着至关重要的作用。自1997年以来,科学家已经在多个物理体系如光子、原子、离子、电子及超导环路中实现了量子隐形传态。然而,之前所有实验都被限制在只能隐形传态一个自由度。但即使是一个最简单的基本粒子,真正的物理体系自然地具有多个自由度的信息^[20]。因此,多自由度的量子隐形传态成为近20年来

量子信息基础研究领域的一个巨大挑战。

中国科学技术大学合肥微尺度物质科学国家实验室(筹)潘建伟和陆朝阳研究组与合作者,实验示范了同时对自旋和轨道角动量进行编码的单光子复合量子态的量子隐形传态(图3)。他们搭建了基于两个自由度纠缠(超纠缠)的光子对的隐形传态通道,并利用概率性量子无损测量设计了一种可实现自旋和轨道角动量多自由度贝尔态测量的新方案,该方案还可扩展到更多自由度。他们检验了自旋-轨道各自量子态及其杂合态的传态效果,结果显示传态的保真度为0.57~0.68,高于经典极限。这项工作为实现更复杂量子系统的隐形传态迈出了关键一步。相关研究论文发表在2015年2月26日《Nature》[518(7540): 516-519]^[21]。



具有轨道角动量的光子以螺旋线向前传输,
光子携带的自旋角动量由箭头表示

图3 对单光子自旋和轨道角动量的量子隐形传态过程
(图片来源:科学网)

1.5 发现1个中心黑洞质量为120亿太阳质量、红移为6.3的超亮类星体

类星体是银河系外能量巨大的遥远天体,其中心是猛烈吞噬周围物质的质量在千万太阳质量以上的超大质量黑洞(图4)。这些黑洞虽然自身不发光,但由于其强大的引力,周围物质在快速落向黑洞的过程中以类似“摩擦生热”的方式释放出巨大的能量,使得类星体成为宇宙中最耀眼的天体。迄今为止,天文学家已经发现了20多万颗类星体,它们分布于宇宙大爆炸之后7亿年至今,对应的宇宙学红移从7.085到0.05。通过对高红移类星体的研究,人们可以追溯到早期宇宙的结构和演化^[22]。

北京大学物理学院吴学兵研究组与合作者基于自主发展的选取高红移类星体候选体的有效方法,利用中国云南天文台的2.4 m望远镜首先观测和国外4台大型光学和红外地

面望远镜后续观测,发现一个距离地球128亿光年(红移6.3)、发光强度是太阳的430万亿倍、中心黑洞质量约为120亿太阳质量的超亮类星体。这是目前发现的在宇宙早期最亮、中心黑洞质量最大的一个类星体。在宇宙年龄只有9亿年时,就有120亿太阳质量的黑洞存在,这对目前的黑洞形成和增长理论、黑洞和星系共同演化理论都提出了严重挑战,并为未来研究早期宇宙中黑洞和星系的形成和演化提供了一个特别的实验室。相关研究论文发表在2015年2月26日《Nature》[518(7540): 512-515]^[23]。



图4 遥远宇宙中拥有巨大黑洞的类星体示意
(图片来源:果壳网)

1.6 理论预言和实验验证外尔半金属

德国科学家外尔(H.Weyl)1929年指出,当质量为0时,狄拉克方程描述的是一对能量相同但具有相反手性的新粒子,即外尔费密子。80多年过去了,人们一直未能观测到这种神奇的粒子。中微子曾经被认为是外尔费密子的候选者,但后来发现中微子其实具有质量。近年来,拓扑绝缘体尤其是拓扑半金属等领域研究的快速发展为寻找外尔费密子提供了新的思路,它们可以作为准粒子存在于外尔半金属材料中。寻找外尔半金属材料是一个非常具有挑战性的科学问题,也是该领域国际竞争的焦点之一。

2015年,中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室(筹)方忠研究组(翁红明等)通过理论计算预言,TaAs家族材料就是要寻找的外尔半金属体系^[24];中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室(筹)陈根富研究组合成了该材料晶体,并观察到理论预测到的因手征反常导致的负磁阻效应^[25];中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室(筹)丁洪、钱天研究组和合作者用角分辨光电子能谱证实了理论预言的三维电子能谱和费米弧(图5)^[26-28]。中国科学家的系列工作终于“找到”了外尔费密子这一隐身80多年的“幽灵”粒子。此外,美国普林斯顿大学的Hasan研究组和清华大学陈宇林研究组^[29]及合作者也得到类似结果。外尔半金属的发现提出了很多新的科学问题,同时也为开发低能耗电子器件等变革性技术提供了新思路。

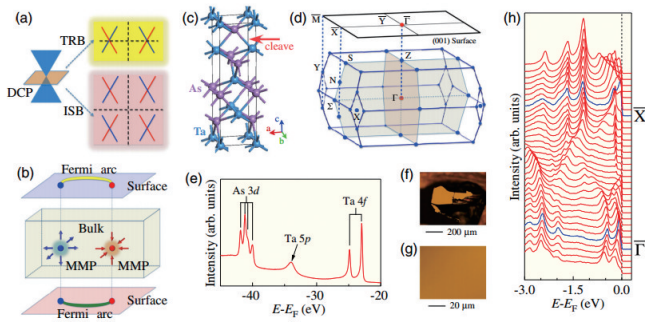
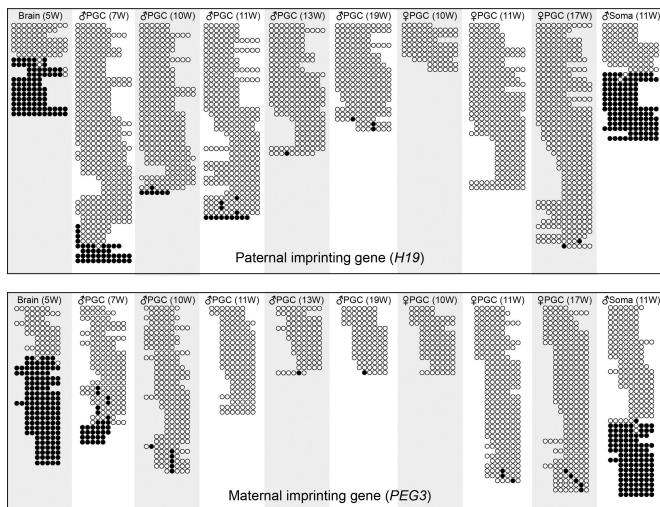


图5 外尔半金属和TaAs的单晶体 (图片来源:文献[26])

1.7 解析人类原始生殖细胞的转录组与DNA甲基组图景

人类原始生殖细胞产生于胚胎发育的早期,是发育为成熟的精子和卵细胞的前体细胞,精卵结合后会发育成新的个体,并将遗传物质传递给下一代以维持种族的延续。因此,对人类早期胚胎及原始生殖细胞的发育过程进行深入研究,对于理解人类胚胎发育特征及对于反复流产、胚胎停育、不孕不育等疾病发病机制的认识具有重要意义^[30]。这类特殊的原始生殖细胞的基因表达调控与其他体细胞有何不同?除了遗传序列本身,亲本还把哪些表观遗传记忆留在了原始生殖细胞中?哪些表观遗传记忆信息需要被擦除?这些关键问题一直没有解决。

北京大学生物动态光学成像中心汤富酬研究组和北京大学第三医院乔杰研究组及其合作者,采用最新的单细胞转录组高通量测序等关键技术,解析了人类原始生殖细胞多个发育阶段的转录组和DNA甲基化组的动态变化,揭示了人类原始生殖细胞基因表达调控的一系列关键特征(图6、图7)。



每一行连锁的圆圈代表全基因组DNA甲基化测序结果中一条读段上的CpG位点,白色圆圈代表未甲基化的CpG位点,黑色圆圈代表甲基化的CpG位点

图6 父本印迹基因H19和母本印迹基因PEG3在各个发育阶段的原始生殖细胞以及体细胞中的DNA甲基化 (图片来源:科学网)

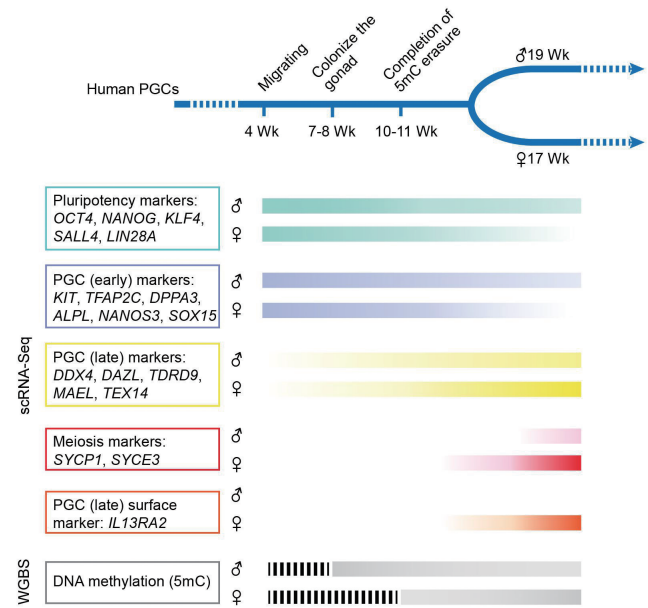


图7 人类原始生殖细胞代表性基因的表达水平及DNA甲基化随发育时间的变化示意 (图片来源:科学网)

该项研究显示,处于发育早期的人类原始生殖细胞协同表达一系列干细胞多能性基因以及生殖系特异基因。基因组DNA甲基化作为一种关键的表观遗传修饰方式,是调控细胞分化过程中基因表达的关键机制之一。该项研究发现,人类原始生殖细胞在发育过程中会经历大规模的表观遗传记忆(DNA甲基化标记)的擦除,在胚胎第11周时原始生殖细胞中仅有6%~7%的DNA甲基化得以保留;但另一方面,基因组中重复序列元件上仍然残留大量甲基化,这为研究人类隔代遗传现象的表观遗传学基础提供了重要线索。该项研究首次为人们提供了详尽的人类原始生殖细胞发育过程中基因表达网络及其表观遗传调控景观图,是理解基因组潜能重置、表观遗传记忆擦除、人类生殖细胞建立的基础,有助于更好地理解人类生殖细胞和早期胚胎发育的特征与规律。相关研究论文发表在2015年6月4日《Cell》[161(6): 1437-1452]^[31]。

1.8 解析酵母剪接体对信使RNA前体行使剪接的结构基础

分子生物学的中心法则是描述细胞最基础也最核心的生命活动基因表达的一套重要规律,由英国生物学家弗朗西斯·克里克(F. H. C. Crick)于1957年首先提出。其主要内容是编码在DNA中的遗传信息通过转录传递给前体信使RNA(简称转录),再经过剪接去除非编码信息,将编码信息连成一体成为成熟的信使RNA(简称剪接),进而以信使RNA为模版,将编码信息翻译成蛋白质(简称翻译),从而行使生命活动的各种功能。很多疾病是由于剪接环节出现错误,导致由DNA编码的遗传信息不能转化为成熟的信使RNA所致。第2步剪接过程中,剪接体是如何工作的以及剪接体到底是什么,是迄今为止国际生命科学领域最受瞩目的课题之一。而由于剪接体是由多个核内核糖核蛋白颗粒(snRNPs)及数

十种蛋白质组成的“超大复合物”，其结构解析难度被普遍认为是高于RNA聚合酶和核糖体，因此也被认为是结构生物学的难题之一^[32-34]。

清华大学蛋白质科学教育部重点实验室施一公研究组与合作者利用单颗粒冷冻电镜技术以3.6 Å分辨率解析了裂殖酵母的剪接体结构(图8)，并在结构研究的基础上阐述了剪接反应进行的分子机制(图9)。该剪接体原子模型包括37种蛋白质的10574个氨基酸和4个RNA分子，其整体分子质量接近1.3M道尔顿。他们的研究揭示了剪接反应的催化中

心构成和多个关键分子的作用方式，证明剪接体本质上是一个在蛋白质指导下的核酶(ribozyme)，而蛋白质组分的作用在于帮助递送关键的RNA分子使其在合适时间彼此接近从而实现剪接反应。该研究初步解答了生命科学基础研究领域长期以来备受关注的核心问题，为进一步揭示与剪接体相关疾病的发病机理提供了结构基础和理论指导，也大幅推进了分子生物学中心法则在分子机理方面的研究。相关研究论文发表在2015年9月11日《Science》[349(6253): 1182-1191, 1191-1198]^[35,36]。

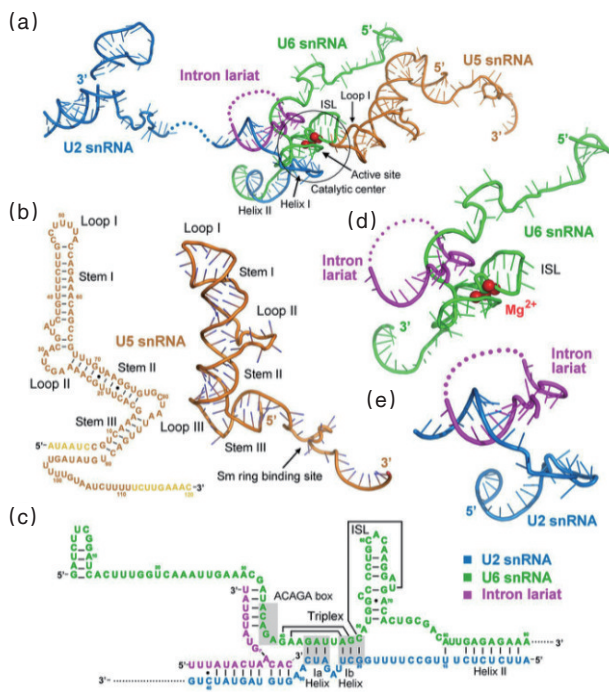


图8 剪接体复合物的三维结构(图片来源:清华大学网)

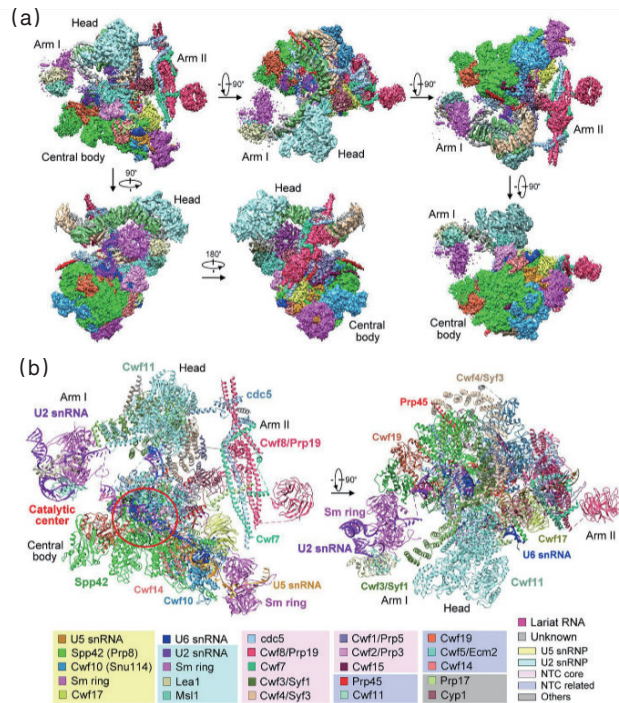


图9 基因剪接的分子机制示意(图片来源:清华大学网)

1.9 揭示阻断机体免疫炎症过度反应的表观遗传修饰机制

机体免疫系统通过“发炎”的方式抗御感染,但有时“发炎”过度会损伤自身而导致自身免疫性疾病,如何及时终止炎症免疫反应是免疫学领域备受关注的重要科学问题。

中国医学科学院/北京协和医学院医学分子生物学国家重点实验室曹雪涛研究组与合作者的研究显示,在炎症免疫活化的晚期(即炎症消退期),DNA羟甲基化酶Tet2能够反馈性抑制炎症因子的分泌。他们在急性内毒素休克与结肠炎模型中证实,Tet2可结合表观遗传调控分子去乙酰化酶HDAC2,选择性地直接结合炎症因子IL-6基因的启动子区,从而阻止其表达。该研究揭示了表观修饰介导的转录调控是炎症消退期炎症因子表达下降的一个决定性因素,修正了以往广泛认为的炎症信号转导负调控分子起决定性作用的学术观点,为免疫学与表观遗传学交叉研究提出了新方向。此外,该课题组在以往独立发现E3泛素连接酶Nrdp1的

基础上,进一步发现其能够通过抑制T细胞过度和持续活化而及时阻滞炎症相关疾病的发生发展。以上研究提出了不同表观修饰之间及不同翻译后修饰新的交叉调控模式,阐明了炎症消退和抑制过度炎症持续反应的新机制,对自身免疫性疾病及炎症相关疾病的治疗具有重要指导意义,并为免疫学与表观遗传学前沿交叉研究提出了新方向^[37]。相关研究论文发表在2015年9月17日《Nature》[525(7569): 389-393]^[38]。

1.10 测量反质子-反质子间的相互作用

原子核物理学研究的首要目标是了解核子之间的相互作用,这是了解核结构以及原子核彼此之间相互作用的必要一步。自英国物理学家卢瑟福(E. Rutherford)1911年提出原子核结构模型以来,通过研究核子或原子核已经获得了大量的关于核力的知识。虽然科学家在实验中已经观测反He-4原子并对其质量进行了测量,但对于反核子之间的相互作用还很少有直接地了解。美国布鲁克海文国家实验室的相对

论重离子对撞机(RHIC)的STAR实验将质心能量为200 GeV的金离子相互碰撞,产生出大量的反质子,这为研究反质子-反质子间相互作用的细节提供了基础(图10)。

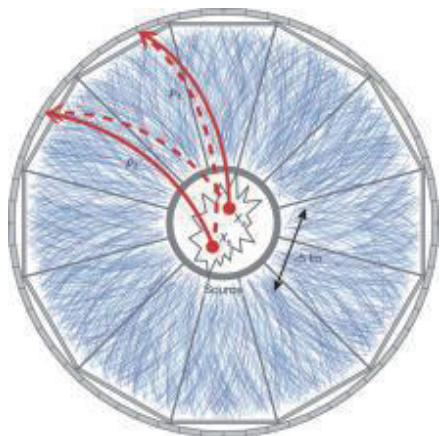


图10 STAR探测器内探测到的2个反质子-反质子关联示意(图片来源:科学网)

中国科学院上海应用物理研究所马余刚研究组与美国布鲁克海文国家实验室唐爱洪研究组等合作,利用STAR实验结果,首次测量到反质子-反质子间的相互作用力,这对理解反物质的构成起到了至关重要的作用^[39]。

研究人员通过对反质子-反质子之间动量关联函数的测量,提取到反质子-反质子相互作用的有效力程和散射长度。对这两个基本作用参数的研究表明,反质子-反质子之间存在着吸引力,可以克服反质子-反质子间由于同号(负电荷)所产生的库伦排斥力,结合成反物质原子核。而且他们测量得到的结果与质子-质子相互作用的对应值在误差范围内一致(图11)。此次对反物质间相互作用的首次定量测量,标志着对反物质的研究进入了新的篇章,即从定性的观测到定量相互作用研究的跨越,将对理解反物质的形成机制起到关键作用。相关研究论文发表在2015年11月19日《Nature》[527(7578): 345-348]^[40]。

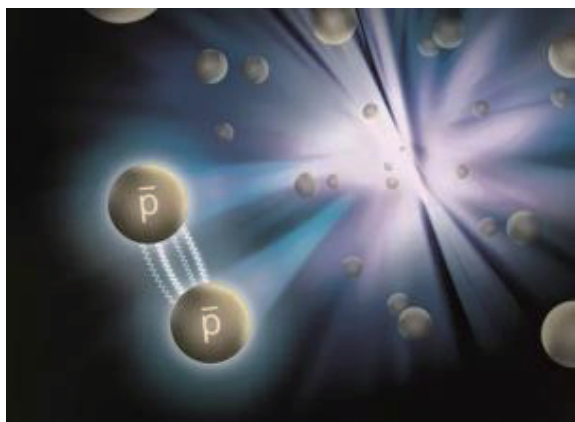


图11 反质子间相互作用示意(图片来源:科学网)

2 2015年中国重大技术进展(10项)

2.1 核电站控制棒系统验收,核反应堆“心脏”实现中国造

控制棒驱动系统是核反应堆本体中唯一动作的部件,承担着反应堆启动、功率调节等控制和保护职责,是反应堆安全运行的“心脏”。此前中国在运和在建的百万千瓦级压水堆核电机组均使用国外品牌技术,关键部件和材料需从国外进口。

2015年1月6日,由中国广核集团牵头组织的国家科技支撑计划项目——“百万千瓦级压水堆核电站控制棒驱动系统研发”通过验收,意味着中国企业已完全掌握适用于12英尺和14英尺(1英尺=30.48 cm)燃料组件的控制棒驱动系统关键技术,打破了国外长期的技术垄断,实现了核反应堆“心脏”的自主化和国产化。这是继实现核电站“中枢神经”——核级数字化仪控系统(DCS)实现自主化后中国核电产业又一重大科研突破。

“百万千瓦级压水堆核电站控制棒驱动系统研发”项目设4个课题,分别从设计技术、金属材料、有机材料及制造技术4个方面,开展控制棒驱动系统的设计自主化和材料、制造国产化研究^[41]。

2.2 中国原创抗癌新药西达本胺获准全球上市

2015年1月27日,深圳微芯生物科技有限公司举行“863计划”及“重大新药创制专项”成果西达本胺上市新闻发布会,标志着中国基于结构的分子设计、靶点研究、安全评价、临床开发到实现产业化全过程的整合核心技术与能力显著提升,这是中国医药行业的历史性突破。中国抗癌原创新药西达本胺(图12),是全球首个获准上市的亚型选择性组蛋白去乙酰化酶口服抑制剂,也是中国首个授权美国等发达国家专利使用的原创新药。



图12 西达本胺
(图片来源:深圳微芯生物科技有限公司)

中国每1万人中约有1人发生恶性淋巴瘤,西达本胺的首个适应症为复发及难治性外周T细胞淋巴瘤(图13为其抗肿瘤机制示意),使用此药的临床病人已获得长期生存治疗。深圳微芯生物科技有限公司已授权美国、日本及中国台湾等国家和地区同步开展单药及联合其他抗肿瘤药物针对其他血液肿瘤、非小细胞肺癌及乳腺癌等实体瘤的临床研究。

深圳微芯生物科技有限公司由留美归国博士团队创立于2001年,专长于原创小分子药物研发,在肿瘤、糖尿病/代谢疾

病、免疫性疾病领域建立了多个从实验室到临床及产业化阶段的原创新药产品线。目前已申请67项化合物全球发明专利,其中36项已获授权。西达苯胺的成功研发,是在国家创新政策支持下,由风险资本投入,海归科学团队联合全国临床专家协同创新的有益探索^[42]。

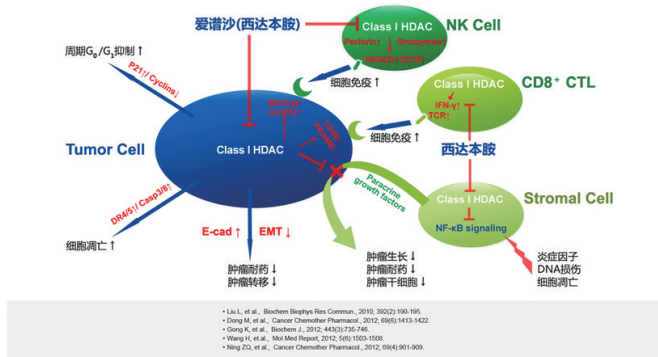


图13 西达苯胺靶向于多细胞、多条信号传递通路的抗肿瘤分子作用机制(图片来源:深圳微芯生物科技公司)

2.3 中海油攻克海上“双高”气田开发世界级难题

2015年2月9日,中国海洋石油总公司宣布,中国海上首个高温高压气田——中国海油东方1-1(图14)首批调整井,经过近6个月作业成功完钻,并创出一系列领先国际水平的高效作业、安全和产能纪录。标志着中国海油在“双高”天然气成藏理论、“双高”地层压力预监测、钻前预测和钻后评价等核心技术上均取得突破,系统攻克了海上高温高压气田勘探开发的世界级难题。



图14 海上油气田(图片来源:《中国海洋石油报》)

海上常规气田的压力系数在1.0左右,东方13区气藏的压力系数则达1.8~2.1,井底温度近150℃。动用这样的气藏,存在两大难题:成藏认识难、钻完井等工程技术难。20世纪90年代,国外相关理论表明,莺琼盆地压力梯度、温度高,即使发育天然气,也会是水溶气,无法游离成藏。中国海油启动相关理论研究,创新了“双高”天然气成藏理论,构建了构造活动型走滑-伸展盆地重力流沉积模式及“双高”地层压力预监测技术,提出了“动态生气-耦合成藏-近源聚集”的生烃-成藏观点;研发集成了高温超压地层的压力钻前预测、随

钻监测和钻后评价技术。这些认识突破加上钻井难题的攻克,使得探井钻井周期由最初的200天缩短为40天左右,成本大幅下降,在东方发现了东方13大气田,在崖城和陵水区发现了“双高”气田。

东方1-1一期调整井,正是为了动用这批储量。通过技术攻关,相比设计,节省工期121天,节省费用1.3亿元,实际产量超过预期^[43]。

2.4 世界首个自主运动可变形液态金属机器人问世

2015年3月3日,刘静带领的中国科学院理化技术研究所与清华大学医学院联合研究小组研发出世界首个自主运动的可变形液态金属机器人,相关研究论文发表在2015年3月3日《Advanced Materials》。

这是世界上首次发现的一种异常独特现象和机制,即液态金属可在吞食少量物质后以可变形机器人形态长时间高速运动(图15),实现了无需外部电力的自主运动,从而为研制实用化智能马达、血管机器人、流体泵送系统、柔性执行器乃至更为复杂的液态金属机器人奠定了理论和技术基础。这种液态金属机器人完全摆脱了庞杂的外部电力系统,从而向研制自主独立的柔性机器人迈出了关键的一步。

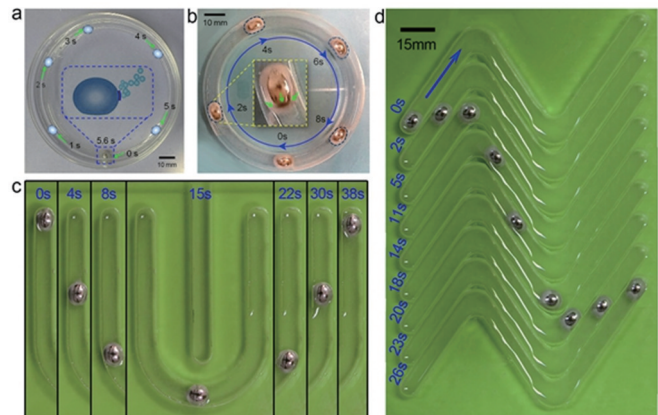


图15 可变形液态金属机器人在内含电解液的容器或各种槽道中的自主运动情形(图片来源:《Advanced Materials》)

在迄今所发展的各种柔性机器人中,自主型液态金属机器人所表现出的变形能力、运转速度与寿命水平等均较为罕见(图16),使其具有诸多重要用途:可快速制造出大量微泵,满足诸如药液、阵列式微流体的输运;实现高度集成化的微芯

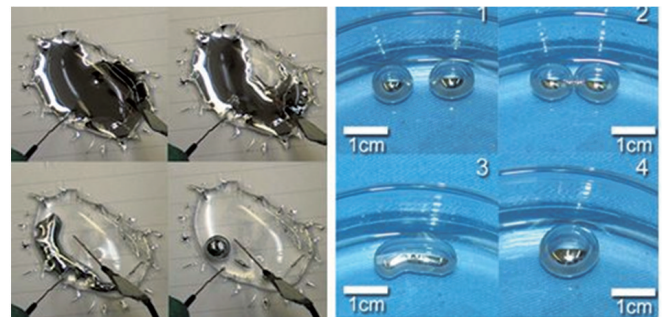


图16 可变形液态金属机器人问世,习性接近简单软体生物(图片来源:《Advanced Materials》)

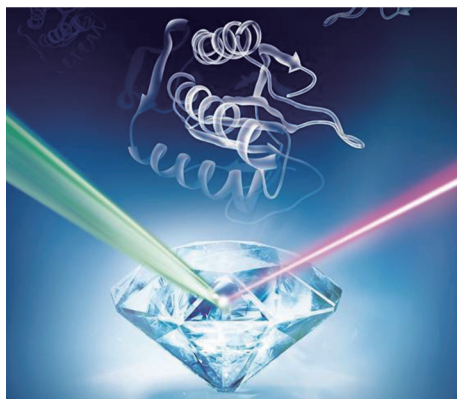
片冷却器;用于制造血管或腔道机器人甚至是可自我组装的液态金属智能机器等。自驱动液态金属机器的问世引申出了全新的可变形机器概念,将显著提速柔性智能机器的研制进程^[44]。

2.5 室温大气环境下单蛋白质分子的磁共振探测

中国科学技术大学合肥微尺度物质科学国家实验室(筹)杜江峰研究组与合作者将量子技术应用于单个蛋白质分子研究,在室温大气条件下获得了世界上首张单蛋白质分子的磁共振谱。相关研究论文发表在2015年3月6日《Science》[347(6226):1135-1138]^[45]。

磁共振技术能够准确、快速和无破坏地获取物质的组成和结构信息,已被广泛应用于基础研究和医学等各大领域。然而当前通用的磁共振谱仪受制于探测方式,其研究对象通常为数十亿个分子,成像分辨率仅为 10^{-3} m量级,无法观测到单个分子的独特信息。

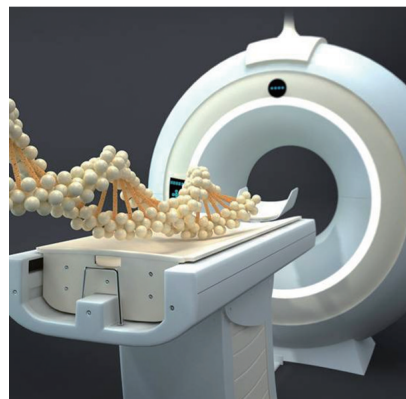
杜江峰研究团队利用钻石中的氮-空位点缺陷作为量子



绿色光束为激发激光,红色光束为可探测荧光信号
图 17 钻石探针实现对单蛋白质分子信号的检测
(图片来源:中国科学院网)

探针(以下简称“钻石探针”)(图 17),将磁共振谱的分辨率从以往的 10^{-3} m提高提高到 10^{-9} m,灵敏度从以往的 10^{10} 分子提高到单分子。基于此,在室温和空气条件下,实验实现了对一个携带有自旋标记的蛋白质分子的电子自旋共振信号的检测,进而获得单个蛋白质分子的磁共振谱。此外,还实现了对蛋白质分子上的自旋的相干驱动,这是进一步研究蛋白质原子核自旋极化以及对蛋白自身进行详细结构分析的先决条件。

该研究不仅将磁共振技术的研究对象从数十亿个分子推进到单个分子,并且“室温大气”这一宽松的实验环境为该技术未来在生命科学等领域的广泛应用提供了必要条件,使得高分辨率的纳米磁共振成像及诊断(图 18)成为可能,有望帮助人们从单分子的更深层次来探索生命和物质科学的机理,对于物理、生物、化学、材料等多个学科领域具有深远的意义^[46]。



为直观显示,以DNA双链代替蛋白质分子
图 18 基于该成果技术的一个未来发展方向——单分子磁共振成像(图片来源:中国科学院网)

2.6 中国研发出世界首台医院中子照射器

2015年4月15日,世界首台专门用于硼中子俘获治疗的放射治疗装置——医院中子照射器(IHNI)在国内首例恶性黑色素瘤患者临床试治中达到预期验证目标(图 19)。



图 19 患者在轻松舒适的环境下接受BNCT治疗
(图片来源:北京凯佰特科技有限公司网)

该装置拥有中国全部自主知识产权,获得8项国家专利受理或授权。

“硼中子俘获疗法”是世界先进的二元靶向放射治疗方法,其原理是将强靶向性的含硼药物施于癌细胞并滞留其中,利用热中子与硼的俘获反应,产生的能量仅作用于约 $10\ \mu\text{m}$ 的癌细胞内,彻底破坏其遗传结构,使其不能修复而凋亡。使用该疗法进行恶性肿瘤治疗可在彻底杀灭肿瘤组织同时,最大程度保留患处周围正常组织及功能,大大提高患者治疗后生活质量与生存时期。

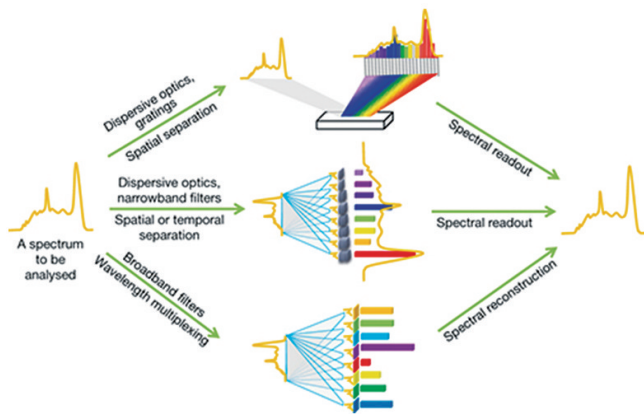
目前国际上只能在堆功率从几百到几万千瓦的大中型研究堆上对病人照射。而中国原创的IHNI装置是一种微型堆,只有30 kW,能在医院内实施癌患的治疗。此外,IHNI堆芯实现了低浓化,摆脱了国际上对高浓铀防核扩散的种种审批限制,可顺畅进入核医疗市场。IHNI被国际原子能机构称为“具有亲用户的核安全特性”,可由医师自行掌控。IHNI堆芯一炉装料可持续使用一个堆寿期约20年,除常规供水、供

电、供气外,不需特殊配置,癌患的照射花费比重离子放射或大型加速器低^[47]。

2.7 胶体量子点微型光谱仪研制成功

光谱仪是一种能够分辨不同颜色(波长)光波强度的分析仪器,已被非常广泛地应用在诸如天文、生物、化学、医学、环境学等多领域。这类设备通常体积过大以致于难以移动。科学家长期致力于让光谱仪小型化、成本低廉且易于使用,以便增加它们的使用范围。

清华大学鲍捷与合作者基于胶体量子点的吸收特性,利用胶体量子点组成的二维吸收滤波阵列取代传统光谱仪的衍射和滤波等光学元件,研制成功胶体量子点微型光谱仪(图20)。相关研究论文发表在2015年7月2日《Nature》[523(7558): 67-70]^[48]。



上部为光栅光谱仪的原理;下部为量子点光谱仪的原理;中间为现有多数其他光谱仪技术原理

图20 不同光谱仪工作原理比较(图片来源:《Nature》)

该微型光谱仪由195个胶体量子点组成,光谱范围达300 nm,分辨率达1 nm。这种微型光谱仪不仅可通过增加不同的量子点,使其分辨率和光谱范围同时增加,而且容易制备和集成,具有尺寸小、质量轻、成本低等优点(图21为胶体量子点被打印到摄像传感器表面示意)。

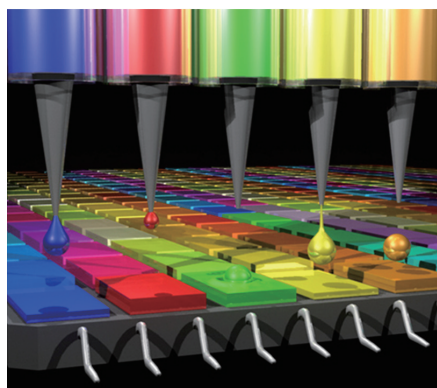


图21 胶体量子点被打印到摄像传感器表面示意(图片来源:《Nature》)

作为一种光谱仪微型化方法的新突破,这种方法为制作高性能、低造价、体积小于智能手机摄像头的微型光谱仪铺平了道路,将在包括太空探索、个性化医疗、微流控芯片实验室诊断平台等领域具有具有广泛应用。

2.8 制备出大面积高质量二维超薄Mo₂C超导体

二维过渡金属碳化物(TMC)是一大类具有新奇特性和应用的材料家族,高质量二维TMC的制备是研究TMC在二维极限下新物理和新物性的基础。然而,迄今为止所获得的二维TMC纳米片存在大量缺陷和官能团,且其最大尺寸仅约10 μm。中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家(联合)实验室任文才研究组,采用上层铜箔/底层钼箔构成的双金属叠片作为生长基体的化学气相沉积(CVD)方法,在高温下通过铜催化裂解甲烷生成的碳原子与扩散到铜表面的钼原子反应生长出高质量的超薄二维α-Mo₂C晶体(图22、图23)。这些二维晶体具有规则的几何形状,仅有几纳米厚,横向尺寸可达100 μm,并且具有很高的化学和热稳定性。对材料的结构进行详细表征发现这种材料为正交结构,具有很高的结晶质量,结构均一,无缺陷、杂质等。而进一步与北京大学纳米器件物理与化学教育部重点实验室康宁等合作研究发现,这种二维材料的超导转变表现出二维特性,与Berezinskii-Kosterlitz-Thouless相变特征一致,并随磁场方向表现出强的各向异性。而且,其超导电性强烈依赖于晶体的厚度。相关研究论文发表在2015年8月17日《Nature Materials》[14(11): 1135-1141]^[49]。

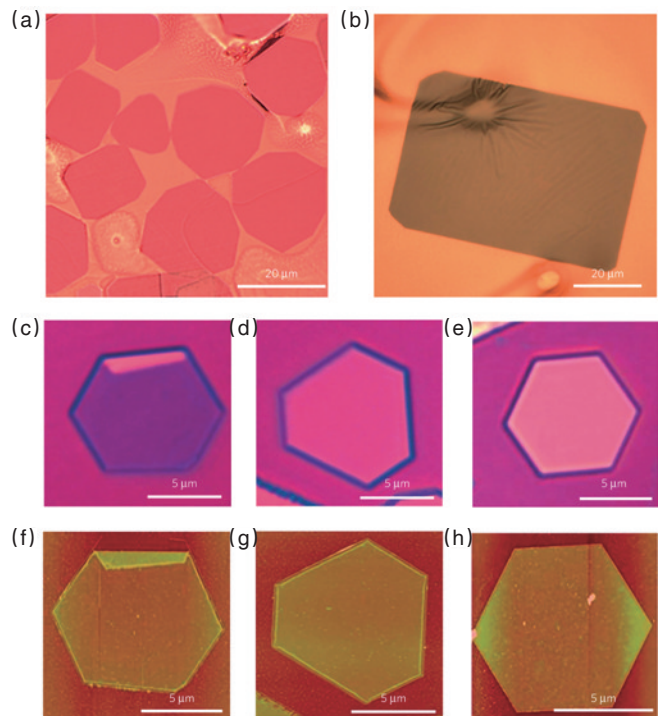


图22 通过CVD制备的大面积二维超薄α-Mo₂C晶体(图片来源:《Nature Materials》)

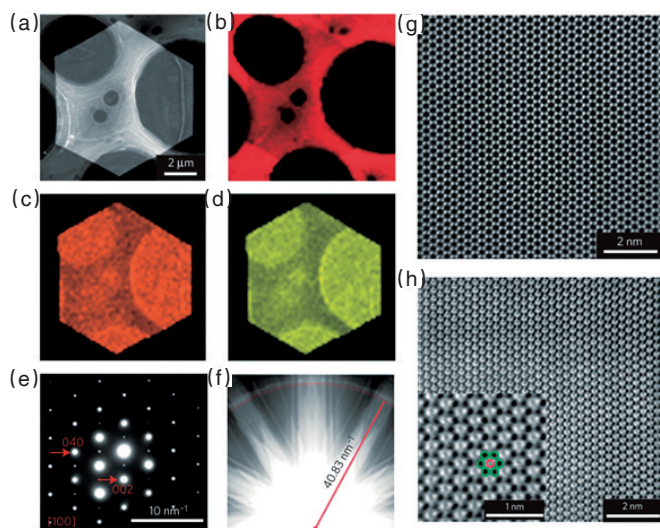


图 23 二维超薄 α - Mo_2C 晶体表征
(图片来源:《Nature Materials》)

这种以双金属叠片为基体的 CVD 方法具有很好的普适性和可控性,可以用于制备其他二维过渡族金属碳化物。这类高质量二维过渡族金属碳化物晶体为二维材料家族增添了新成员,不仅为研究其本征物性以及和现有二维材料不同的新物性和新应用提供了可能,而且可用于与其他二维晶体材料一起构筑新型叠层异质结构,拓展了二维材料的物性和应用空间^[50]。

2.9 高效低成本光催化制氢材料研发成功

传统的石油和化石能源的消费引起全球变暖、环境污染和能源短缺等问题,成为人类可持续发展面临的重大挑战,而通过模拟光合作用,设计高效光催化体系吸收光分解水制氢,将太阳能转化为氢能,是一种理想的制氢途径。但由于大量使用贵金属催化剂,成本昂贵。同时,吸光材料与助催化剂之间空间分布不均匀,可能会减少光诱导激发态电子的生成,降低界面激发态电子的寿命,极大影响光催化制氢的效率。

中国科学技术大学化学与材料科学学院杜平武课题组设计制备出具有高转化率的非贵金属光催化制氢材料,表现出优越的人工光合成制氢性能和稳定性。相关研究论文发表在 2015 年 9 月 1 日《Energy & Environmental Science》上。

过渡金属磷化物作为助催化剂具有很好的光催化产氢的性质,将磷化亚铜、磷化铈等磷化物负载在半导体上,可有效提升半导体光催化产氢的效率。在此基础上,课题组利用溶剂热法,将新型磷化镍助催化剂负载在硫化镉半导体纳米线上,得到了分布均匀、接触紧密的磷化镍/硫化镉复合结构,获得了高效、稳定、廉价的人工光合成催化剂。实验数据和光谱表征证明,该复合结构能有效促进复合材料内的快速电子转移过程,抑制激发态电子的失活,提高可见光催化制氢性能。在添加硫化钠/亚硫酸钠情况下,该催化剂材料实现了高效的光催化制氢;可见光大于 420 nm 条件下,产氢速率达

到 $1200 \mu\text{mol}/(\text{mg}\cdot\text{h})$, 90 h 反应转化次数约达 3270000, 基于磷化镍助催化剂的反应次数达 36400 /h(图 24)。由于原料价格低廉,性能优异,制备简单,该材料作为光催化制氢材料展现出重要前景^[51]。

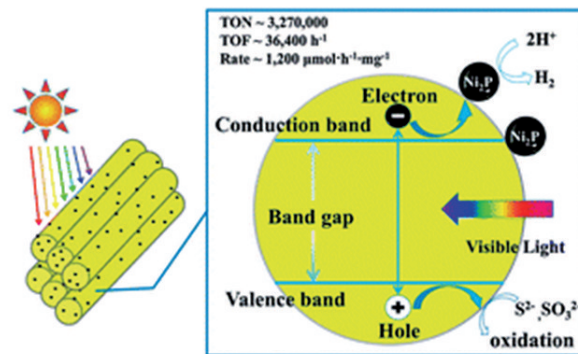


图 24 催化制氢反应示意
(图片来源:《Energy & Environmental Science》)

2.10 中国研制出世界最高效固态量子存储器

中国科学院量子信息重点实验室李传锋研究组成功实现了量子点发射的确定性单光子的多模式固态量子存储。该成果在国际上首次实现量子点与固态量子存储器两种不同固态系统之间的对接,并且实现了 100 个时间模式的多模式量子存储,模式数创造世界最高水平,为量子中继和全固态量子网络的实现打下坚实的基础。研究成果发表在 10 月 15 日的《Nature Communications》^[52]。

纠缠分发是构建量子网络的核心技术。由于信道中不可避免的传输损耗,目前在信道中直接进行纠缠分发只能达到百公里量级,要想实现长程的纠缠分发则需要基于单光子量子存储和两光子 Bell 基测量的量子中继技术。目前已经实验验证的量子存储或量子中继方案都是基于概率性光源(光子产生几率一般低于 1% 且存在多光子项)的存储,这类方案的长程纠缠分发时间预计将在分钟量级以上。

李传锋研究组利用自组织量子点产生确定性单光子源(原则上光子产生几率 100% 且每次有且仅有单个光子),然后通过光纤传输到 5 m 外的另一张光学平台上的固态量子存储器中。他们一方面利用局部光学加热方法调节单光子的波长与固态量子存储器的操作波长相匹配,另一方面利用光学频率梳技术把单光子存储到研究组自主研发的“三明治”型固态量子存储器[PRL 108, 190505; PRL 115, 113002]中,并测得单光子偏振态的存储保真度为 91.3%。研究组进一步实验实现确定性单光子的 100 个时间模式的多模式量子存储,模式数创造了世界最高水平(图 25)。

这项实验演示了加速纠缠分发的两个最重要的要素,即确定性量子光源和多模式量子存储。前者可以指数加速纠缠分发,后者则可以线性加速,两者结合在一起预计可以使长程纠缠分发的时间缩短到毫秒量级。该成果还首次实现

了两个固态量子节点,即量子点和固态量子存储器的对接,向实现全固态量子网络迈出了重要的一步(图26)^[53]。

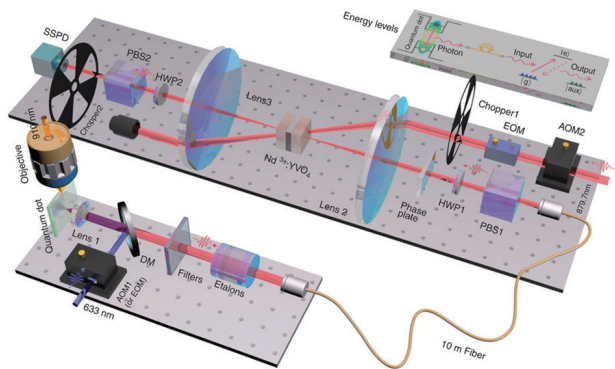
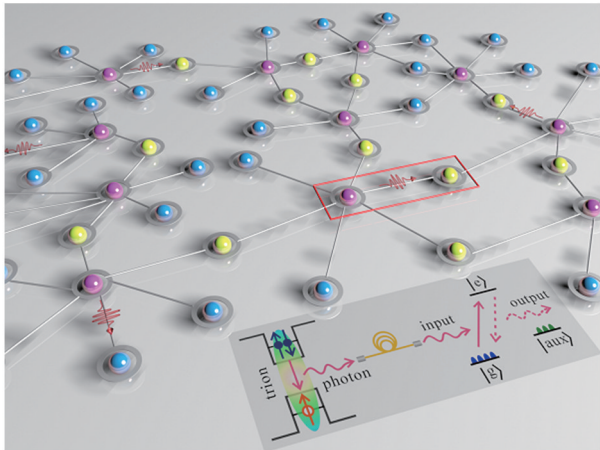


图25 多模式固态量子存储实验装置示意
(图片来源:《Nature Communications》)



小球表示量子节点,线表示信道,不同节点间利用信道传输光子进行连接。不同颜色的小球代表构成量子网络的各种不同量子系统。右下角插图展示了量子点与固态量子存储器的能级结构

图26 量子网络示意

(图片来源:中国科学院量子信息重点实验室网)

3 2015年中国重大工程进展(10项)

3.1 中国成功研制世界先进水平航天器“发动机”

2015年1月2日,由中国航天科技集团公司五院自主研发的中国首个卫星用200 mm离子电推进系统(lips-200)地面寿命及可靠性试验累计工作时间达到6000 h(图27),开关机3000次,具备确保卫星在轨可靠运行15年的能力,这标志着中国自主研发的电推进系统达到国际先进水平,将全面迈入工程应用阶段,能够满足中国通信卫星系列平台、高轨遥感平台、深空探测器的发展需求^[54,55]。

2015年11月20日,由中国航天科技集团公司五院承担的“星载电推进系统地面集成演示验证”项目通过现场检查和验收评审。

电推进技术是目前最先进的空间推进技术,与传统的化

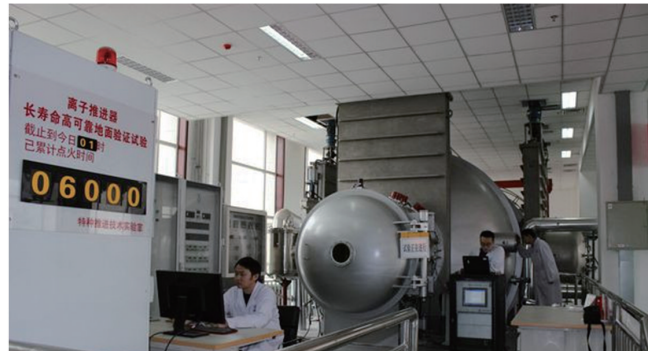


图27 200 mm离子电推进系统地面寿命及可靠性6000 h试验现场(图片来源:中国空间技术研究院网)

学推进相比,具有大幅减少推进剂、操控更灵活、定位更精准等优势,航天器采用电推进系统能够极大地提高有效载荷比,节约卫星发射成本,延长卫星在轨工作寿命。

中国经过40多年的研究,突破了离子推力器等单机关键技术。然而,由于电推进涉及高电压供电等系统问题,中国电推进工程应用进展缓慢。为此,中国航天科技集团公司五院启动电推进系统演示验证,提出从“系统集成、整星兼容、效能评估”3方面开展试验验证的总体方案并成功获批,成为“十二五”宇航领域首个获批演示验证类项目。该项目取得了国际上首次基于大型通信卫星整星电推进点火、9500 h寿命试验等标志性成果。项目成果具有较强的公用性和适应性,将应用于中国东方红系列卫星新研发平台及全电推平台的设计与研制^[56]。

3.2 中国首列“永磁高铁”试跑成功

2015年1月14日,由中国南车株洲所研制的永磁同步牵引系统在青岛成功完成首次轨道运行(图28),并顺利通过中国铁路总公司评审,即将开始整车型式试验与运行考核。这是中国首列基于永磁同步电机的高速动车组的“首秀”,标志着中国成为世界上少数几个掌握高铁永磁牵引系统技术的国家之一^[57,58]。



图28 中国首列永磁高铁“首秀”(图片来源:潇湘晨报网)

世界轨道交通车辆牵引系统技术,经历了直流系统、异步系统、永磁系统三大阶段。永磁同步牵引电机具有转速

稳、效率高、体积小、重量轻、噪声低、可靠性高等诸多特点,节能可达10%以上。中国永磁在轨道交通上的研发起步较晚,但目前已追赶上国外先进水平。

高速动车组永磁牵引系统项目系国家“863计划”项目子课题,其中的永磁电机是国内轨道交通领域功率最大的永磁电机。项目组攻克了高速列车永磁牵引系统方波控制、高速重投等系列技术难题,通过大量工程化研究和多轮样机试制、试验,完成了永磁牵引系统在高铁上的工程化应用,最终实现中国首套高速列车永磁牵引系统的研制、试验和装车。

3.3 EAST辅助加热系统验收

2015年2月10日,国家重大科技基础设施“托卡马克核聚变实验装置辅助加热系统”(简称EAST辅助加热系统)项目在合肥通过验收^[59]。

EAST辅助加热系统开工以来,项目组自行设计并研制出稳态大功率低杂波电流驱动系统,系统发展了C波段稳态大功率微波系列设备和系统集成技术,成功解决了薄壁水滴型铜管成型焊接工艺、高性能大体积绝缘箱体一体化成型等一系列技术难题。

建成的EAST辅助加热系统的输出功率、运行脉冲长度等参数均达到或超过设计指标,拥有完全独立知识产权,其中低杂波系统性能达到国际领先水平、中性束系统达到国际先进水平。该项目进一步提升了中国大规模自主研发聚变关键技术和系统的能力,为EAST开展高水平科学实验奠定了坚实基础。

EAST于2007年3月通过验收,是中国自行设计建设的世界首个全超导托卡马克装置,现已成为国际磁约束聚变装置中最前沿的实验平台及未来5年世界上唯一有能力实现400 s长脉冲高性能放电的聚变装置(图29)。

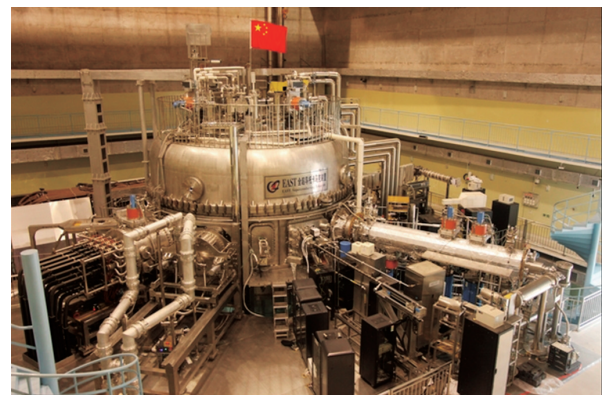
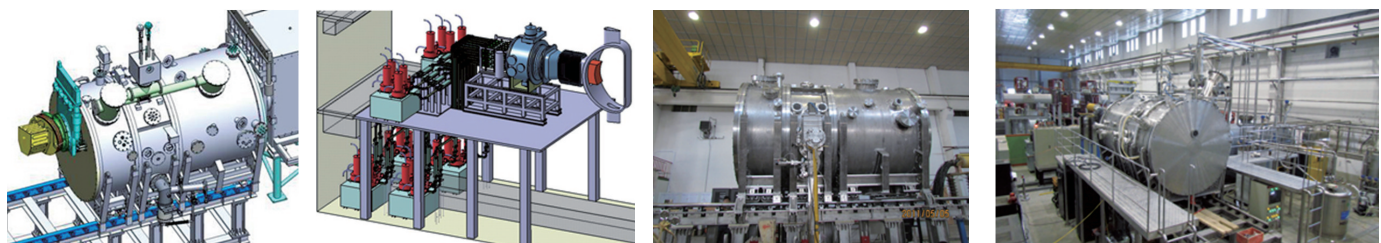


图29 中国自行设计研制的世界上第一个“全超导非圆截面托卡马克”核聚变实验装置——EAST
(图片来源:中国科学院等离子体物理研究所)

EAST辅助加热系统是EAST大科学装置的二期工程。EAST辅助加热系统是国家发展改革委员会“十五”大科学工程项目,于2008年7月立项,2011年11月开工建设,总投资2.3亿元人民币,建设4 MW中性束加热系统、4 MW低杂波电流驱动系统(图30)^[60]。



(a) EAST辅助加热
NBI系统效果

(b) EAST辅助加热低
杂波系统效果

(c) EAST辅助加热BI
综合测试台主真空室

(d) EAST辅助加热
NBI综合测试台

图30 EAST辅助加热系统(图片来源:中国科学院重大科技基础设施网)

3.4 中国新一代北斗导航卫星准确入轨

2015年3月30日21:52,中国在西昌卫星发射中心用“长征三号丙”运载火箭,成功将首颗新一代北斗导航卫星发射升空,卫星顺利进入预定轨道(图31)^[61]。

2015年4月21日,首颗新一代北斗导航卫星准确进入工作轨道;14:18,地面成功接收到卫星下发的导航信号,标志着中国新一代卫星研制、发射取得了里程碑式的成功^[62]。

2015年7月25日20:29,中国在西昌卫星发射中心用“长征三号乙/远征一号”运载火箭成功将2颗新一代北斗导航卫星发射升空,经过约3.5 h飞行后,“远征一号”上面级将2颗

卫星准确送入预定轨道。这是“远征一号”第2次飞行,也是其首次执行运送双星入轨任务^[63]。

2015年9月30日7:13,中国在西昌卫星发射中心用“长征三号乙”运载火箭成功将第4颗新一代北斗导航卫星发射升空。这是中国发射的第20颗北斗导航卫星,星上首次搭载氢原子钟,入轨后将开展星载氢原子钟、星间链路、新型导航信号体制等试验验证工作,并适时入网提供服务^[64]。

北斗卫星导航系统是中国自主建设、独立运行,与世界其他卫星导航系统兼容共用的全球卫星导航系统,可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠的定



图31 搭载首颗新一代北斗导航卫星的“长征三号丙”运载火箭在西昌卫星发射中心点火发射(图片来源:新华网)

位、测速、授时服务,并兼具短报文通信能力。2000年底开始向中国及周边地区提供服务,2012年底正式向亚太大部分地区提供运行服务。根据系统全球组网建设计划,2018年可为“一带一路”沿线国家提供基本服务;2020年将建成由5颗地球静止轨道卫星、30颗地球非静止轨道卫星组网而成的全球卫星导航系统,实现全球区域覆盖,并且国内精度达到2.5 m。

新一代北斗卫星具有更高的定位和授时精度、更强的在轨自主运行能力、更加轻盈小巧的结构,将开展新型导航信号体制、星间链路等试验验证工作,为北斗卫星导航系统全球组网建设提供依据。也标志着中国北斗卫星导航系统由区域运行向全球拓展。

3.5 长征六号点火发射成功,一箭20星创亚洲之最

2015年9月20日7:01,中国在太原卫星发射中心用全新研制的长征六号运载火箭,成功将20颗卫星发射升空,卫星顺利进入预定轨道,开创了中国一箭多星发射的新纪录(图32)。这也是中国新一代运载火箭的首次发射,标志着中国运载火箭应用进入新纪元。

长征六号运载火箭由中国航天科技集团公司上海航天技术研究院抓总研制,于2009年8月正式批复立项。火箭全长29 m,一级直径3.35 m,二、三级直径2.25 m,起飞推力1200 kN。长征六号运载火箭采用了全新的总体方案、结构形式、动力系统和电气系统,自主创新成果达几十项,发射可靠性提高到0.98,达到国际先进水平。

长征六号运载火箭首次采用了高压补燃循环无毒无污染液氧煤油发动机、“三平”测发模式,成功突破高精度控制技术、氧箱自增压技术、燃气滚控技术、箭地一体化快速测发技术等一系列关键技术,并按照“通用化、组化、系列化”的设计思路,可进一步提高运载能力,有效提高国际商业发射

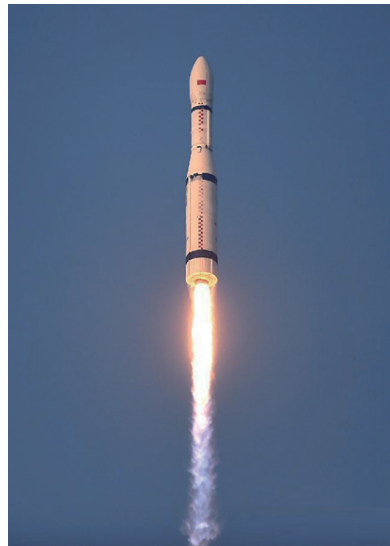


图32 新型运载火箭长征六号在太原卫星发射中心点火发射,成功将20颗微小卫星送入太空(图片来源:新华网)

市场竞争力,标志着中国在运载火箭现代化、模块化方面迈出了坚实一步,对中国运载火箭后续发展具有里程碑意义。

此次长征六号首飞箭采用了一箭20星状态,将中国航天科技集团公司东方红卫星公司、深圳东方红海特卫星公司及国防科学技术大学、清华大学、浙江大学、哈尔滨工业大学等单位研制的20颗卫星送入了预定的轨道,在国内属于首次^[65-67]。

3.6 首台万米级无人潜水器和着陆器4000 m级海试成功

2015年9月26日至10月25日,上海海洋大学深渊科学技术研究中心研制的中国首台万米级无人潜水器“彩虹鱼”号和着陆器,在南海成功完成4000 m级海试(图33),标志着中国探秘“万米深渊”迈出实质性的一步。



图33 海试人员布放“彩虹鱼”号(图片来源:上海海洋大学网)

本次海试中,完成无人潜水器下潜试验2次,最大潜深2100 m;完成着陆器下潜试验4次,其中2次为4000 m级试验,最大潜深为4328 m。

海试的 11000 m 无人潜水器“彩虹鱼”号由中国自主研发, 布放与回收系统、中继站系统、光纤缆、水面控制系统均实现 100% 国产化, 潜水器本体系统国产化率达到 95%。海试表明, “彩虹鱼”号的水面控制台、水面显控设备、水面配电设备均能正常工作, 潜水器的本体功能正常。通过海试, 全海深着陆器各项技术指标得到验证, 提前实施了无缆布放, 多次获得海水温盐深探测仪(CTD)的测量数据。着陆器抵达海底后, 拍摄到海底生物; 着陆器携带的小生物抓捕器, 还捕获小石斑鱼。

根据计划, 在 2016 年下半年, “彩虹鱼”号和着陆器将乘坐下水的 4800 t 级“张謇”号科考母船前往马里亚纳海沟区域, 进行 11000 m 无人深潜测试。2017 年, 开展从南极至北极的“极地深渊科考探索之旅”。2019 年, 全海深载人潜水器将冲击马里亚纳海沟^[68,69]。

3.7 首架国产大飞机下线

2015 年 11 月 2 日, 中国自主研发的首架大型客机 C919 在上海正式下线(图 34), 成为中国大飞机工程的重要里程碑^[70]。

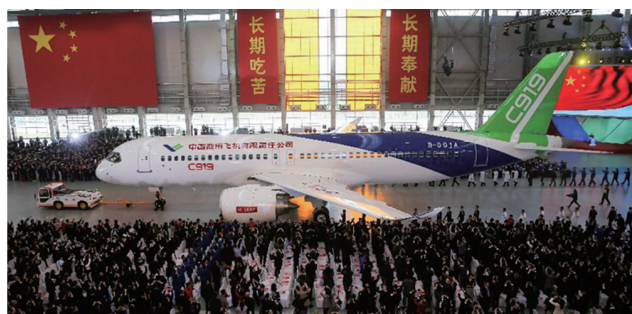


图 34 总装下线的 C919(图片来源:新华网)

1980 年 9 月, 中国建造的大飞机运 10 首飞成功。2006 年 1 月, 中国将大型飞机项目列为国家中长期科技规划的 16 个重大专项之一。2008 年 11 月, C919 项目启动。2009 年 9 月, C919 机头样机在中航工业成都飞机有限公司开工制造。2014 年 5 月 15 日, C919 前机身大部段成功下线。2014 年 9 月 19 日, 第一架 C919 大型客机在中国商飞上海浦东总装基地正式开始结构总装工作。

C919 大型客机是中国拥有自主知识产权的中短程商用干线飞机, 包括飞机总体方案、气动外形、飞机机体设计与制造、系统集成及工程项目管理等均具有自主知识产权, 并具有“更安全、更经济、更舒适、更环保”等特性(图 35)。C919 标准航程型设计航程为 4075 km, 增大航程型设计航程为 5555 km, 可满足航空公司对不同航线的运营需求。标准航程型飞机最大起飞重量 72500 kg, 最大设计经济寿命为 90000 飞行小时/60000 飞行循环/30 个日历年, 其基本型全经济级布局为 168 座, 混合级布局为 158 座。

中国商飞公司采用“主制造商-供应商”模式, 国内有 22 个省市、200 多家企业、36 所高校、数十万产业人员参与了 C919 大型客机研制, 包括宝钢集团有限公司在内的 16 家材料制造

商和 54 家标准件制造商成为大型客机项目的供应商或潜在供应商^[71,72]。

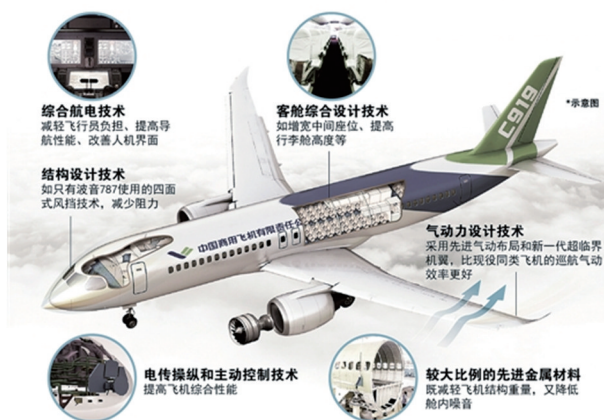


图 35 C919 采用的先进技术(图片来源:《南国今报》)

3.8 大型反场箍缩磁约束聚变实验装置“科大一环”建成运行

2015 年 11 月 3 日, 中国首台大型反场箍缩磁约束聚变实验装置“科大一环”, 在中国科学技术大学完成安装调试并进入常态化运行(图 36)。目前每 2 min 即可获得 1 次放电, 最大等离子体电流可达 180 kA。

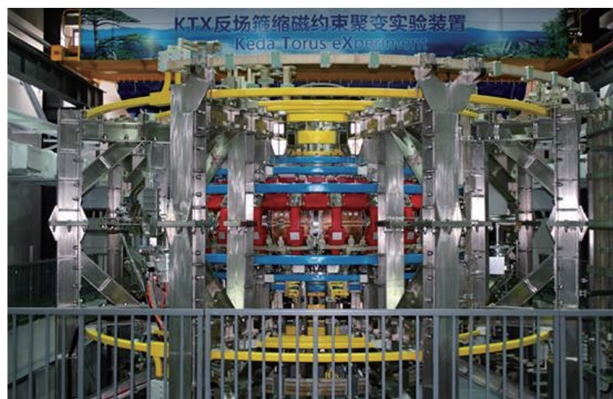


图 36 进入常态化运行的大型反场箍缩磁约束聚变实验装置(图片来源:中国科学技术大学网)

“科大一环”为科学技术部“国家磁约束核聚变能发展研究专项”支持的大型装置建设项目。“科大一环”大半径 1.4 m, 小半径 0.4 m, 磁场可达 7000 Gs, 等离子体电流达 1 MA, 电子温度达 600 万℃, 放电时间达 100 ms。其装置主机总体直径 8 m, 通高 6 m, 总重量超过 70 t。

目前国际上有 4 个主要返场箍装置, 即美国 MST 装置、欧盟 RFX-Mod 装置、欧盟 Extrap-T2R 装置、日本的 RELAX 装置。“科大一环”是中国完全自行设计、自主研发集成的国际先进反场箍缩装置, 设计的各项指标均达国际同类装置先进水平, 为等离子体物理研究的科研人员提供了一个全新的大型实验平台^[73,74]。

3.9 世界最大球面射电望远镜馈源舱在贵州升舱

2015年11月21日,在贵州平塘安装建设的世界最大单口径球面射电望远镜(FAST)及核心部件馈源舱进行升舱(图37),标志着整个工程进入尾声^[75]。

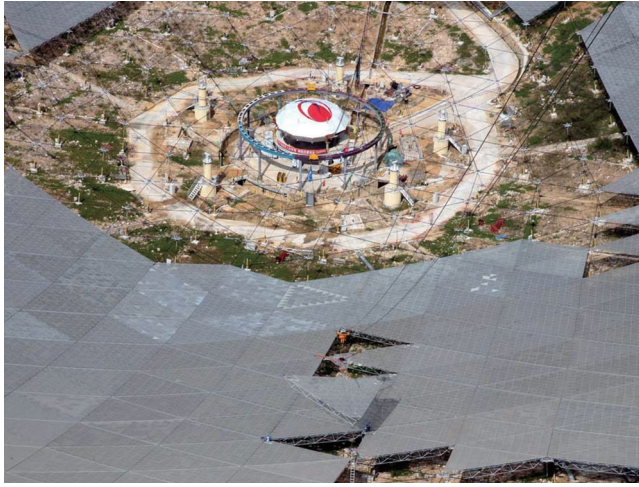


图37 FAST及核心部件馈源舱进行升舱
(图片来源:《中国日报》)

FAST望远镜口径达500 m,从顶到底的垂直距离接近138 m,反射面总面积约25万m²。FAST索网直径500 m、总重量1300余吨,是目前世界上跨度最大、精度最高的索网结构,也是世界上第一个采用变位工作方式的索网体系。索网结构可以随着天体的移动自动变化,带动索网上活动的4450个反射面板产生变化,足以观测到任意方向的天体;同时,馈源舱也随索网一同运动,采集反馈信息。这4450个反射面每1个都可以进行对焦,灵敏度可达美国阿雷西博射电望远镜的2倍,巡天速度是其10倍。与号称“地面最大的机器”的德国波恩100 m望远镜相比,灵敏度提高约10倍。

FAST于1995年酝酿选址,2011年开工建设,全部安装及测试工作将于2016年9月前完成。建成后能将中国空间测控能力由月球延伸到太阳系外缘,可以把深空通讯数据下行速率提高几十倍,并可在今后20~30年的时间里保持世界领先地位^[76]。

3.10 中国暗物质粒子探测卫星“悟空”发射成功

2015年12月17日08:12,酒泉卫星发射中心用长征二号丁运载火箭成功将暗物质粒子探测卫星“悟空”发射升空,卫星顺利进入预定转移轨道^[77]。

2015年12月20日08:45,中国遥感卫星地面站喀什站成功跟踪、接收到“悟空”的首轨X频段下行数据,至08:52完成任务数据的接收、记录,并传输至中国科学院国家空间科学中心(图38),标志着“悟空”和地面站星地之间的数据传输链路正式开通^[78]。

“悟空”暗物质粒子探测卫星是中国科学院空间科学战略性先导科技专项中首批立项研制的4颗科学实验卫星之



图38 中国科学院国家空间科学中心空间科学任务大厅屏幕上显示接收到“悟空”的第1批科学数据(图片来源:新华社)

一,是中国第一颗完全由中国科学院研制、生产的卫星,也是中国空间科学卫星系列的首发星。工作轨道为高约50 km的晨昏太阳同步轨道,有效载荷质量1410 kg,观测能段范围为5 GeV~10 TeV,能量分辨率优于1.5%,是目前世界上观测能段范围最宽、空间和能量分辨率世界领先的高能粒子探测器,可以精确测量宇宙高能粒子(电子、伽玛、宇宙射线核素等)的物理特征和空间分布。

暗物质和暗能量被科学家称为“笼罩在21世纪物理学上的两朵乌云”。中国暗物质粒子探测卫星工程于2011年立项论证,2012—2015年进行工程研制,2015—2018年在轨运行,承担3个主要科学目标:通过在空间高分辨、宽波段观测高能电子和伽玛射线寻找和研究暗物质粒子,在暗物质研究这一前沿科学领域取得重大突破;通过观测TeV以上的高能电子及重核,在宇宙射线起源方面取得突破;通过观测高能伽玛射线,在伽玛天文方面取得重要成果。此次发射的“悟空”暗物质粒子探测卫星由中国科学院微小卫星创新研究院抓总研制,中国科学院紫金山天文台等科研单位共同参加有效载荷、科学应用等工程项目研制工作^[79]。

致谢 本次遴选中,“重大科学进展”的28项候选条目,是从科学技术部基础研究管理中心主办,《中国基础科学》《科技导报》《中国科学院院刊》《中国科学基金》《科学通报》协办的2015年度“中国科学十大进展”候选条目中产生的,特此感谢!

参考文献(References)

- [1] 本刊编辑部. 2003年中国重大科学、技术与工程进展[J]. 科技导报, 2004, 22(3): 59-61.
- [2] 本刊编辑部. 2004年中国重大科学、技术与工程进展[J]. 科技导报, 2005, 23(2): 58-62.
- [3] 苏青. 2005年中国重大科学、技术与工程进展[J]. 科技导报, 2006, 24(1): 5-10.
- [4] 苏青. 2006年中国重大科学进展[J]. 科技导报, 2007, 25(1): 5-10.
- [5] 苏青. 2006年中国重大技术与工程进展[J]. 科技导报, 2007, 25(2): 5-13.

- [6] 苏青. 2007年中国重大科学、技术与工程进展[J]. 科技导报, 2008, 26(1): 19-27.
- [7] 苏青, 代丽, 岳臣. 2008年中国重大科学、技术与工程进展[J]. 科技导报, 2009, 27(1): 19-29.
- [8] 苏青, 朱宇, 代丽, 等. 2009年中国重大科学、技术与工程进展[J]. 科技导报, 2010, 28(1): 19-29.
- [9] 苏青, 朱宇, 陈广仁, 等. 2010年中国重大科学、技术和工程进展[J]. 科技导报, 2011, 29(3): 19-29.
- [10] 朱宇, 苏青, 陈广仁, 等. 2011年中国重大科学、技术和工程进展[J]. 科技导报, 2012, 30(3): 15-25.
- [11] 朱宇, 陈广仁, 苏青, 等. 2012年中国重大科学、技术和工程进展[J]. 科技导报, 2013, 31(3): 15-27.
- [12] 朱宇, 陈广仁, 史永超, 等. 2013年中国重大科学、技术和工程进展[J]. 科技导报, 2014, 32(3): 15-24.
- [13] 陈广仁, 吴晓丽, 刘志远, 等. 2014年中国重大科学、技术和工程进展[J]. 科技导报, 2015, 33(2): 15-28.
- [14] 上海生科院发现乳腺干细胞的细胞表面标记基因[EB/OL]. 2014-10-21. http://www.cas.cn/ky/kyjz/201410/t20141020_4226633.shtml.
- [15] Wang D, Cai C, Dong X, et al. Identification of multipotent mammary stem cells by protein C receptor expression[J]. *Nature*, 2015, 517(7532): 81-84.
- [16] 农业技术革新促使人类大规模定居青藏高原[EB/OL]. 2014-12-04. <http://news.sciencenet.cn/htmlpaper/201412422174560935054.shtm>.
- [17] Chen F H, Dong G H, Zhang D J, et al. Agriculture facilitated permanent human occupation of the Tibetan Plateau after 3600 B.P.[J]. *Science*, 2015, 347(6219): 248-250.
- [18] 科学家模拟合成新型石墨烯[EB/OL]. 2015-04-14. <http://news.sciencenet.cn/html/showpaper.aspx?id=36133>.
- [19] Zhang S, Zhou S, Wang Q, et al. Penta-graphene: A new carbon allotrope[J]. *PNAS*, 2015, 112(8): 2372-2377.
- [20] 科学家实现多自由度量子体系隐形形态[EB/OL]. 2015-03-06. <http://news.sciencenet.cn/htmlpaper/2015369351748635863.shtm>.
- [21] Wang X L, Cai X D, Su Z E, et al. Quantum teleportation of multiple degrees of freedom of a single photon[J]. *Nature*, 2015, 518(7540): 516-519.
- [22] 我们发现了宇宙早期的超级黑洞和最亮类星体[EB/OL]. 2015-03-04. <http://www.guokr.com/article/440004>.
- [23] Wu X, Wang F, Fan X, et al. An ultraluminous quasar with a twelve-billion-solar-mass black hole at redshift 6.30[J]. *Nature*, 2015, 518(7540): 512-515.
- [24] Weng H, Fang C, Fang Z, et al. Weyl semimetal phase in noncentrosymmetric transition-metal monophosphides[J]. *Physical Review X*, 2015, 5(1): 011029.
- [25] Huang X, Zhao L, Long Y, et al. Observation of the chiral-anomaly-induced negative magnetoresistance in 3D Weyl semimetal TaAs[J]. *Physical Review X*, 2015, 5(3): 031023.
- [26] Lü B Q, Weng H M, Fu B B, et al. Experimental discovery of Weyl semimetal TaAs[J]. *Physical Review X*, 2015, 5(3): 031013.
- [27] Lü B Q, Xu N, Weng H M, et al. Observation of Weyl nodes in TaAs[J]. *Nature Physics*, 2015, 11(9): 724-727.
- [28] Lü B Q, Muff S, Qian T, et al. Observation of Fermi-Arc Spin Texture in TaAs, *Physical Review Letters*, 2015, 115(21): 217601.
- [29] Yang L X, Liu Z K, Sun Y, et al. Weyl semimetal phase in the non-centrosymmetric compound TaAs[J]. *Nature Physics*, 2015, 11(9): 728-732.
- [30] 《细胞》: 人类原始生殖细胞研究获重要成果[EB/OL]. 2015-06-05. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2015/6/320294.shtm>.
- [31] Guo F, Yan L, Guo H, et al. The transcriptome and DNA methylome landscapes of human primordial germ cells[J]. 2015, *Cell*, 161(6): 1437-1452.
- [32] 施一公团队首次捕获真核细胞剪接体三维结构[EB/OL]. 2015-08-24. http://news.xinhuanet.com/hr/2015-08/24/c_128158927.htm.
- [33] 施一公教授研究组在《科学》发表两篇论文报道剪接体的三维结构并阐述RNA剪接的分子结构基础[EB/OL]. 2015-08-21. http://www.tsinghua.edu.cn/publish/news/4205/2015/20150821054238312366972/20150821054238312366972_.html.
- [34] 吴晓丽. 2015生命科学热点回眸[J]. 科技导报, 2016, 34(1): 23-35.
- [35] Yan C, Hang J, Wan R, et al. Structure of a yeast spliceosome at 3.6-angstrom resolution[J]. *Science*, 2015, 349(6253): 1182-1191.
- [36] Hang J, Wan R, Yan C, et al. Structural basis of pre-mRNA splicing[J]. *Science*, 2015, 349(6253): 1191-1198.
- [37] 曹雪涛团队发现免疫炎症消退新机制[EB/OL]. 2015-08-20. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2015/8/325243.shtm?id=325243>.
- [38] Zhang Q, Zhao K, Shen Q, et al. Tet2 is required to resolve inflammation by recruiting Hdac2 to specifically repress IL-6[J]. *Nature*, 2015, 525(7569): 389-393.
- [39] 科学家首次测量到反物质间相互作用力[EB/OL]. 2015-11-07. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2015/11/331200.shtm>.
- [40] The STAR Collaboration. Measurement of interaction between antiprotons[J]. *Nature*, 2015, 527(7578): 345-348.
- [41] 王攀. 核电站控制棒系统通过验收核反应堆“心脏”实现中国造[EB/OL]. 2015-01-06. http://news.xinhuanet.com/tech/2015-01/06/c_1113898610.htm.
- [42] 刘传书. 我原创抗癌新药西达本胺获准全球上市[N]. 科技日报, 2015-01-28.
- [43] 瞿剑. 中海油攻克海上“双高”气田开发世界级难题[N]. 科技日报, 2015-02-10.
- [44] 可变形液态金属机器问世习性接近简单软体生物[EB/OL]. 2015-03-26. http://www.fj.xinhuanet.com/2015-03/26/c_1114775143.htm.
- [45] Shi F Z, Zhang Q, Wang P F, et al. Single-protein spin resonance spectroscopy under ambient conditions[J]. *Science*, 2015, 347(6226): 1135-1138.
- [46] 中国科大首次在室温大气环境下探测到单个蛋白质分子磁共振谱[EB/OL]. 2015-03-16. http://www.cas.cn/syky/201503/t20150316_4322391.shtml.
- [47] 陈瑜. 我研发出世界首台医院中子照射器[N]. 科技日报, 2015-04-22.
- [48] Bao J, Bawendi M G. A colloidal quantum dot spectrometer[J]. *Nature*, 2015, 523(7558): 67-70.
- [49] Xu C, Wang L B, Liu Z B, et al. Large-area high-quality 2D ultrathin Mo₂C superconducting crystals[J]. *Nature Materials*, 2015, 14(11): 1135-1141.
- [50] 丁佳. 我国新型二维材料研究获重要进展[N]. 中国科学报, 2015-08-31.
- [51] 吴长锋, 杨保国. 非贵金属光催化制氢材料研发成功[N]. 科技日报, 2015-09-09.
- [52] Tang J S, Zhou Z Q, Wang Y T, et al. Storage of multiple single-photon pulses emitted from a quantum dot in a solid-state quantum memory[J]. *Nature Communications*, 2015, doi:10.1038/ncomms9652.
- [53] 吴长锋, 杨保国. 我研制出世界最高效固态量子存储器[N]. 科技日报, 2015-10-21.
- [54] 张文静, 朱基钗. 中国成功研制世界先进水平航天器“发动机”[EB/OL].

- OL]. 2015-01-02. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2015/1/310677.shtm>.
- [55] 510所自主研发的我国首个卫星用200毫米离子电推进系统将工程应用[N]. 中国航天报, 2015-01-14.
- [56] 仲小清. 五院承担的星载电推进系统项目获重要进展[N]. 中国航天报, 2015-11-20.
- [57] 成舸, 胡小亮. 首列“永磁高铁”试跑成功[N]. 中国科学报, 2015-01-14.
- [58] 孙信汛. 中国首列永磁高铁完成“首秀”[N]. 潇湘晨报, 2015-01-14.
- [59] 杨琪, 甘晓. 托卡马克核聚变实验装置辅助加热系统获验收[EB/OL]. 2015-02-10. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2015/2/313342.shtm>.
- [60] 吴兰. “人造太阳”辅助加热系统通过国家验收[EB/OL]. 2015-02-10. <http://www.chinanews.com/gn/2015/02-10/7052375.shtml>.
- [61] 张素, 陈海强. 中国成功发射首颗新一代北斗导航卫星[EB/OL]. 2015-03-31. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2015/3/316061.shtm>.
- [62] 黄辛. 我国新一代北斗导航卫星准确入轨道[EB/OL]. 2015-04-23. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2015/4/317551.shtm>.
- [63] 朱峥, 宗兆盾. 中国一箭双星发射两颗新一代北斗导航卫星[EB/OL]. 2015-07-26. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2015/7/323584.shtm>.
- [64] 王玉磊. 中国成功发射第四颗新一代北斗导航卫星[EB/OL]. 2015-09-30. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2015/9/327954.shtm>.
- [65] 刘锟. 长征六号点火发射成功 一箭20星创亚洲之最[EB/OL]. 2015-09-20. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2015/9/327252.shtm>.
- [66] “长征六号”首飞成功 “一箭多星”创新纪录[EB/OL]. 2015-09-20. http://news.xinhuanet.com/politics/2015-09/20/c_128248012_2.htm.
- [67] 张建松. 一箭20星的长征六号新在哪儿[N]. 中国科学报, 2015-09-22.
- [68] 上海海洋大学迈出探秘海洋深渊第一步, “彩虹鱼”号完成4000米级海试[N]. 解放日报, 2015-10-30.
- [69] 张建松. 首台万米级无人潜水器和着陆器四千米级海试成功[EB/OL]. 2015-10-30. http://www.chinaequip.gov.cn/2015-10/30/c_134764928.htm.
- [70] 甘晓, 李晨阳. 首架国产大飞机下线 助力中国制造迈向高端[N]. 中国科学报, 2015-11-03.
- [71] 一等35载首架国产大飞机C919下线[N]. 扬子晚报, 2015-11-03.
- [72] 李文姬. 国产大飞机C919直接使用成本较同类客机低10%[N]. 法制晚报, 2015-11-02.
- [73] 刘军喜. 大型反场箍缩磁约束聚变实验装置建成运行[EB/OL]. 2015-11-03. http://www.chinaequip.gov.cn/2015-11/03/c_134779612.htm.
- [74] 吴兰. 中国大型实验装置“科大一环”实现常态运行[EB/OL]. 2015-11-04. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2015/11/331022.shtm>.
- [75] 姜东. 世界最大球面射电望远镜馈源舱在贵州升舱[N]. 中国日报, 2015-11-21.
- [76] 世界最大在建射电望远镜核心项目启动攻关[EB/OL]. 2015-02-08. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2015/2/313175.shtm>.
- [77] 张素, 宗兆盾. 我国暗物质粒子探测卫星发射成功[EB/OL]. 2015-12-17. <http://finance.chinanews.com/gn/2015/12-17/7674899.shtml>.
- [78] 邱晨辉. 地面站成功接收暗物质卫星“悟空”数据[N]. 中国青年报, 2015-12-22.
- [79] 国家空间科学中心. 我国成功发射暗物质粒子探测卫星[EB/OL]. 2015-12-17. http://www.cas.cn/yw/201512/t20151217_4498232.shtml.

Top advances of science, technology and engineering from China in 2015

CHEN Guangren, WU Xiaoli, LIU Zhiyuan, TIAN Tian

Editorial Department of *Science & Technology Review*, Beijing 100081, China

Abstract Based on the event every year for selecting the annual top advances in science, technology and engineering held by Editorial Department of *Science & Technology Review*, top 10 scientific achievements, top 10 technological achievements and top 10 engineering achievements from China in 2015 during January 1 to December 31, are selected respectively from a lot of scientific researches published in influential academic journals and scientific newspapers. The selection procedure involved screening and recommending candidate internally, followed by appraisal from experts including editorial board members and external reviewers. These achievements are introduced as the time sequence of publishing.

Keywords China; major advance of science; major advance of technology; major advance of engineering

(编辑 田恬)