

2017年中国重大科学、技术和工程进展

陈广仁, 刘志远, 田恬, 祝叶华

《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2017年度中国重大科学、技术、工程进展30项。1) 2017年中国重大科学进展10项:利用量子相变确定性制备多粒子纠缠态,冷原子研究取得突破;发现新型古人类化石——许昌人;真核生物酿酒酵母长染色体精准定制合成;揭示国际贸易导致的PM_{2.5}跨界污染及其健康影响;表明2个突变促进了寨卡病毒爆发流行及毒力增强;揭示脂肪酸是共生菌根和寄生真菌主要碳源营养;实验发现三重筒并费米子;发现化疗药物通过caspase-3诱导细胞焦亡而产生毒副作用;揭示痒觉的核心神经环路机制;LHCb实验首次发现带双电荷的双粲重子。2) 2017年中国重大技术进展10项:首次制备出5 nm栅长的高性能碳纳米晶体管;中国光通信研究新突破:实现1根光纤可供135亿人同时通话;首次实现石墨烯智能人工喉;研发出基于共格纳米析出强化的新一代超高强马氏体时效钢;研制出2.2 g微型化双光子荧光显微镜;中国第一台微波光子雷达诞生;“墨子号”实现星地千公里级量子纠缠和密钥分发及隐形传态;首次制备出全氧化物人工反铁磁体;氧化石墨烯膜通过阳离子控制层间距实现离子筛分;寒武纪公司发布新一代人工智能芯片。3) 2017年中国重大工程进展10项:全球首套煤基乙醇工业示范项目投产成功;天舟一号成功交会对接天宫二号,中国稳步迈进空间站时代;中国国产航母下水,打造中国航母建造新里程碑;“慧眼”升空,填补中国空间X射线天文卫星研制空白;高铁迎来“复兴号”标准动车组,软件全部自主研发;宝兰高铁和兰渝铁路开通运营,中国铁路成网世界第一;中国可燃冰试采圆满结束,产气时长和总量创世界纪录;中国建成世界最大海洋微生物资源库,实现多项第一;中国散裂中子源首次打靶成功获得中子束流,设备国产化率达96.7%;稳态强磁场实验装置通过验收,中国成为国际5大稳态强磁场之一。

关键词 中国;重大科学进展;重大技术进展;重大工程进展

《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14年遴选发布中国年度重大科学、技术和工程进展^[1-15]。为盘点2017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30项重大科学进展、50项重大技术进展、55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

收稿日期:2018-01-23;修回日期:2018-01-30

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

引用格式:陈广仁,刘志远,田恬,等. 2017年中国重大科学、技术和工程进展[J]. 科技导报, 2018, 36(3): 8-26; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.03.001

况,推选出2017年度中国重大科学进展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2017年1月1日至2017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 2017年中国重大科学进展(10项)

1.1 利用量子相变确定性制备多粒子纠缠态,冷原子研究取得突破

量子纠缠既是实现量子计算和量子模拟的重要资源,也有助于实现超越经典干涉仪(如引力波探测的光学干涉仪LIGO)的测量精度极限。自20世纪90年代量子信息研究兴起以来,实现多粒子量子纠缠一直是量子物理实验研究的一大追求。量子纠缠态已经在核自旋、离子、光子和超导量子体系等物理系统中得到实现,但是这些系统中实现的纠缠态最多只包含10个左右的粒子或等同自由度的粒子。利用冷原子体系能够制备更大的纠缠态,但以往制备方式有很大随机性。实现多粒子纠缠是量子物理实验研究的一大追求^[16]。

清华大学物理系尤力和郑盟镔研究组,通过调控铷-87原子玻色-爱因斯坦凝聚体(BEC)中的自旋混合过程,使其连续发生2次量子相变,成功制备了量子纠缠的双数态(twin-fock)原子玻色凝聚体,这是1种原子在2个模式上具有同等粒子数的多体纠缠Dicke态(图1)。目前,该实验平台能在每40 s内确定性地制备1个约10000个原子组成的双数态,从非纠缠的 $m_r=0$ 初态到 $m_r=\pm 1$ 双数态的凝聚体转换效率高达 $96\%\pm 2\%$ 。通过对比量子测量结果和多粒子纠缠判据,可以以超过68.3%的置信度确证他们产生的双数态含有近千个原子(910)的纠缠。

利用量子相变确定性制备多体纠缠态是1种崭新的尝试。由于连续量子相变点处有限系统的能隙很小,系统穿过相变点时会产生较大的激发。该研究显示,即使这种激发会发生,量子相变点两边迥异的多体能级结构依然能够帮助制备出高品质的多粒子纠缠态。这一全新的理解和纠缠态制备方法为未来其他多粒子纠缠态的制备提供了一种思路。另外,双数态的确定性制备为超越标准量子极限的测量科学与技术的实用化发展提供了一种可能,例如实现海森堡极限精度的原子钟和原子干涉仪等。相关研究成果发表在

2017年2月10日出版的《Science》[355(6318): 620–623]上^[17]。

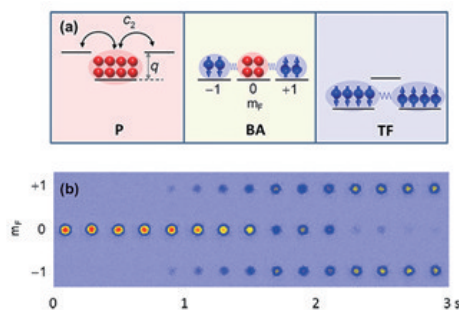


图1 自旋1的旋量BEC基态的不同相及不同自旋分量的原子吸收成像(图片来源:《Science》)

1.2 发现新型古人类化石——许昌人

长期以来,古人类学界对在中国境内发现的中更新世晚期至晚更新世早期过渡阶段古人类成员的演化地位一直存在争议。争论的焦点是:他们是由本地的古人类连续进化而来?还是外来人群的成功入侵者?2005—2016年,河南省文物考古研究院研究员李占扬领导的考古队对位于河南省许昌市的灵井遗址进行了连续12年的挖掘,发现了45件人类头骨碎片化石、古人类制作使用的石器以及20余种哺乳动物化石。通过地层对比、动物群组成分析及光释光测年等多种方法的综合研究,人类化石的年代被确定为10.5万~12.5万年前,为探讨这一阶段中国古人类的演化模式提供了重要信息。

中国科学院古脊椎动物与古人类研究所吴秀杰研究组与美国华盛顿大学Erik Trinkaus等合作的研究显示,许昌人颅骨既具有东亚古人类低矮的脑穹隆、扁平的颅中矢状面、最大颅宽的位置靠下的古老特征,同时又兼具欧亚大陆西部尼安德特人一样的枕骨(枕圆枕上凹/顶部形态)和内耳迷路(半规管)形态,呈现出演化上的区域连续性和区域间种群交流的动态变化。此外,许昌人超大的脑量(1800 cc)和纤细化的脑颅结构,又体现出中更新世人类生物学特征演化的一般趋势。目前还无法将其归入任何已知的古人类成员之中,但同时具有北京人、尼安德特人,甚至现代人的某些特征,许昌人可能代表一种新型的古人类(图2)^[18]。这项研究填补了古老型人类向早期现代人过渡阶段中国古人类演化上的空白,表明晚更新世早期中国境内可能并存有多种古人类成员,不同群体之间有杂交或

者基因交流。许昌人化石为中国古人类演化的地区连续性以及与欧洲古人类之间的交流提供了一定程度的支持。相关研究成果发表在2017年3月3日出版的《Science》[355(6328): 969–972]上^[19]。

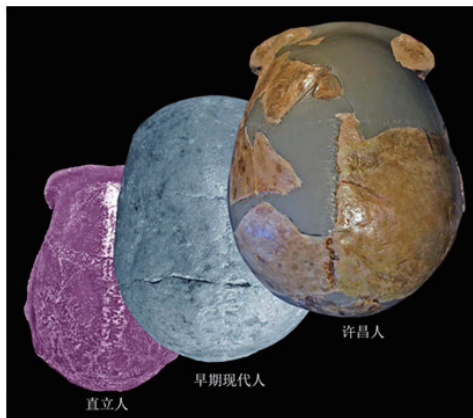


图2 许昌人头骨顶面观及其与直立人、早期现代人对比
(图片来源:中国科学院古脊椎动物与古人类研究所)

1.3 真核生物酿酒酵母长染色体精准定制合成

基因组设计合成是对基因组进行全新设计和从头构建,能够按需塑造生命,开启从非生命物质向生命物质转化的大门,推动生命科学研究由理解生命向创造生命延伸。合成生物学(synthetic biology)是继“DNA双螺旋发现”和“人类基因组测序计划”之后,以基因组设计合成为标志的第3次生物技术革命。

然而,基因组合成面临长染色体难以精准合成、合成染色体导致细胞失活等难题。天津大学元英进、清华大学戴俊彪、深圳华大基因研究院杨焕明等团队与合作者利用多级模块化和标准化人工基因组合成方法,创建了一步法大片段组装技术和并行式染色体合成策略,实现了由小分子核苷酸到活体真核长染色体的定制合成,建立了基于多靶点片段共转化的基因组精确修复技术和DNA大片段重复的修复技术,成功设计构建了4条酿酒酵母长染色体,实现了真核长染色体合成序列与设计序列的完全匹配;原创性地建立了基因组缺陷靶点快速定位方法,提供了表型和基因型关联分析的新策略,通过缺陷靶点的定位与排除,解决了合成基因组导致细胞失活的难题;在此基础上,构建了人工环形染色体,为当前无法治疗的染色体成环疾病发生机理和潜在治疗手段建立了研究模型(图3)。该研究为深化理解生命进化、基因组与功能关系等基础科学问题提供了新的思路^[20]。相关研究成果以4篇论

文形式发表在2017年3月10日出版的《Science》[355: eaaf4704; eaaf4706; eaaf4791; eaaf3981]上^[21–24]。

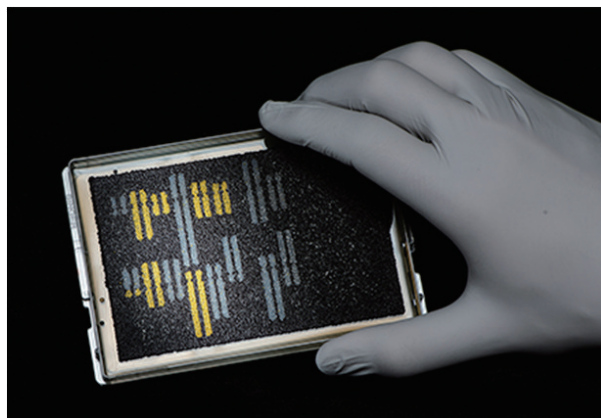


图3 酵母细胞琼脂平板(图片来源:《Science》)

1.4 揭示国际贸易导致的PM_{2.5}跨界污染及其健康影响

据估计,PM_{2.5}相关室外空气污染导致全球每年300多万人过早死亡。PM_{2.5}的产生与各类商品在生产和运输中的能源消耗和污染物排放密切相关。国际贸易使商品生产过程从最终消费地区转移到生产地区,与商品生产相关的污染物排放也随之转移,从而改变了大气污染物排放的时空分布特征,进一步对各地区的空气质量和人群健康产生影响。

清华大学地球系统科学系张强、贺克斌和Steven J. Davis 研究组与北京大学物理学院大气与海洋科学系林金泰研究组等合作,设计构建出一种大气科学、环境科学和经济学多学科交叉的模型方法,首次定量揭示了全球多边贸易引起的PM_{2.5}跨界污染及其健康影响^[25]。研究发现,与国际贸易相关的PM_{2.5}跨界污染水平要远高于与长距离大气输送相关的跨界污染水平,国际贸易隐含的PM_{2.5}跨界污染在2007年造成全球约76万人过早死亡,而发达国家作为主要净进口国,其消费导致的全球健康损失远超过生产。该研究揭示,空气污染在经济全球化背景下已成为一个全球问题,国际社会应当提倡可持续消费,并通过建立相关合作机制促进技术转移,从而降低贸易中隐含的污染水平,推动空气污染全球治理(图4)。该研究为全球大气污染源识别和共同治理提供了崭新的分析视角,是自然科学与社会经济多学科交叉研究的全新范式。相关研究成果发表在2017年3月30日出版的《Nature》[543(7647): 705–709]上^[26]。

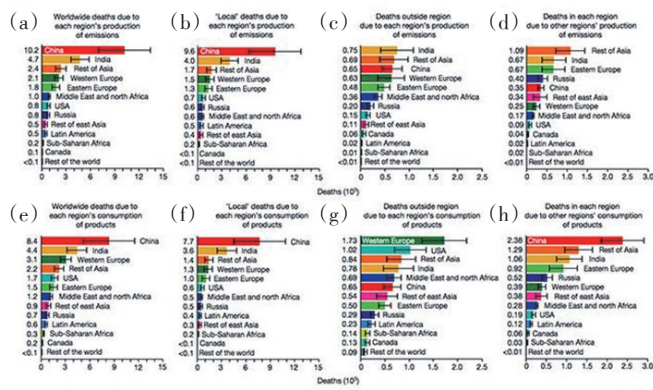


图4 大气传输及贸易对区域PM_{2.5}污染健康影响
(图片来源:《Nature》)

1.5 表明2个突变促进了寨卡病毒暴发流行及毒力增强

寨卡病毒是一种古老的虫媒病毒,最早于1947年分离于乌干达的 Zika 森林故而得名。在随后的数十年中,由于寨卡病毒感染患者的临床症状均较为轻微,没有引起广泛关注。2007年开始,寨卡病毒在东南亚地区和太平洋岛国不断出现较大规模暴发流行。2015年进入美洲以后,寨卡病毒感染导致的神经系统疾病,尤其是新生儿小头畸形的发病率急剧上升,引起全世界的高度关注,被世界卫生组织宣布为“全球关注的突发公共卫生事件”。中国研究团队陆续发表论文,分别揭示了寨卡病毒大规模流行的原因及其导致胎儿小头症发生的机制^[27]。

清华大学医学院程功研究组与美国德克萨斯大学史佩勇等合作的研究显示,此次流行的美洲分离毒株要比之前柬埔寨分离毒株对蚊子更具感染力。进一步分析显示,美洲分离毒株具有更强的NS1分泌能力,主要原因是由NS1蛋白188残基发生一个丙氨酸A到缬氨酸V(NS1 A188V)的突变所致。该研究表明,寨卡病毒在进化过程中其NS1蛋白获得了1个自发突变,结果导致病毒分泌更多的NS1。NS1在受感染宿主血液中的增多,提高了寨卡病毒感染蚊子的能力,使其更有效地在蚊子中流行,进而促进了最近的寨卡疫情大规模暴发。相关研究成果发表在2017年5月25日出版的《Nature》[545(7655): 482–486]上^[28]。

中国科学院遗传与发育生物学研究所许执恒研究组与军事医学研究院微生物流行病学研究所秦成峰研究组等联合攻关,发现此次流行的美洲分离毒株的神经毒力均显著强于之前的柬埔寨株,其在大脑神经干细胞中的增殖能力更强,导致小头症的能力明显增强。

进一步发现,此次美洲分离毒株携带的S139N突变是其在胎脑内复制能力和致小头症能力增强的关键因素。进化分析显示,S139N突变起源于2013年法属波利尼西亚,与寨卡疫情大暴发期间新生儿小头病例的出现高度吻合(图5)。相关研究成果发表在2017年11月17日出版的《Science》[358(6365): 933–936]上^[29]。

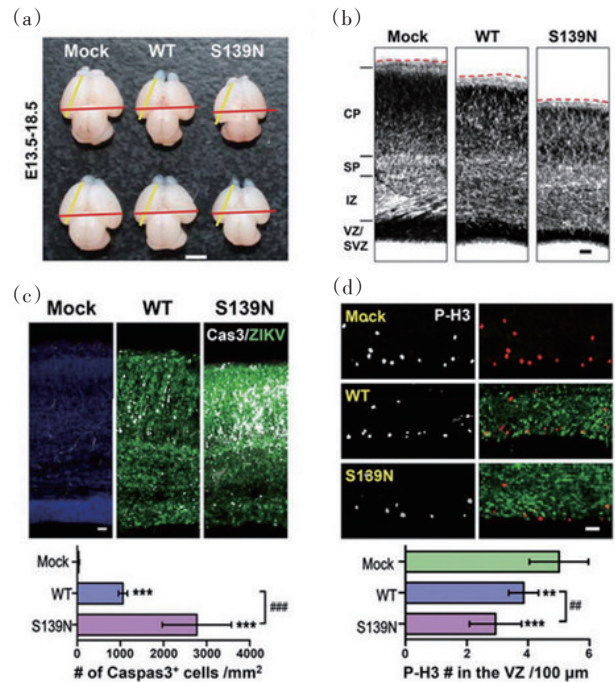


图5 S139N突变导致寨卡病毒致病能力明显增强
(图片来源:《Science》)

上述2项研究分别从蚊虫媒介和致病性上找到了本次寨卡疫情暴发及引发小头症的原因,为寨卡疫情监测和风险预测提供了重要靶标,对寨卡病毒的疫苗和药物研发具有重要指导。

1.6 揭示脂肪酸是共生菌根和寄生真菌主要碳源营养

菌根共生是植物与菌根真菌建立的互惠互利的同盟,也是自然界最为广泛的共生形式。植物可通过与菌根真菌共生高效率的从土壤中获得磷和氮等营养,同时植物把20%左右的光合作用产物传递给菌根真菌供其生长。每年大约有50亿t的光合作用产物通过菌根真菌被固定在土壤中,对整个生态系统的碳氮平衡具有重要的作用。传统理论认为糖是植物为菌根真菌提供碳源营养的主要形式。

中国科学院上海植物生理生态研究所王二涛研究组与合作者的研究揭示,植物向丛枝菌根真菌提供的主要碳源形式并不是糖(图6)。该研究通过同位素示踪、代谢工程、遗传和代谢流分析,发现植物宿主的脂

脂肪酸是从枝菌根真菌生长所必须的,其中一类特殊脂肪酸分子为主要碳源,由植物转运蛋白直接运送给菌根真菌,并最终固定在土壤中。这一全新的菌根共生营养交换模型的建立,颠覆了统治丛枝菌根共生研究领域近130年的“糖营养”理论,首次以直接证据证明脂肪酸才是真菌共生的主要碳源营养^[30]。该研究为作物通过互惠互利共生高效吸收土壤磷、氮等营养奠定了重要理论基础。这一研究还证明,脂肪酸也是病原寄生真菌的营养来源,为作物抗病研究与育种提供了新的思路和方法。相关研究成果发表在2017年6月16日出版的《Science》[356 (6343): 1172–1175]上^[31]。

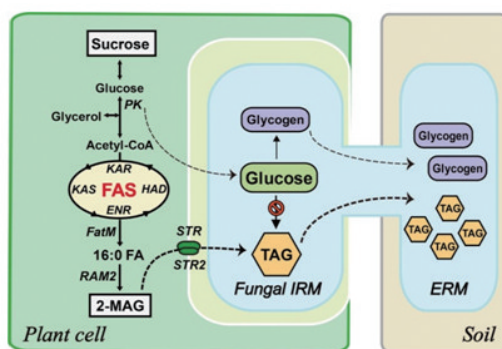


图6 脂肪酸是植物传递给菌根真菌的碳源
(图片来源:中国科学院上海生命科学研究院
植物生理生态研究所)

1.7 实验发现三重简并费米子

组成宇宙的基本粒子可分为玻色子和费米子。现有的理论认为宇宙中只可能存在3种类型的费米子,即狄拉克费米子、外尔费米子和马约拉纳费米子,其中狄拉克费米子具有四重简并,外尔费米子和马约拉纳费米子具有两重简并,而三重简并的费米子在宇宙中是不存在的。这3种类型的费米子也能够以准粒子的形式存在于固体材料中,其中狄拉克费米子和外尔费米子的存在已在实验上得到确证,马约拉纳费米子也得到一些实验的支持。这些固体材料通俗地被称为“固体宇宙”,与真实的宇宙相对应。与时空连续的宇宙空间不同,“固体宇宙”只满足不连续的分立空间对称性,这就可能出现真实宇宙中不存在的新类型费米子。在“固体宇宙”中寻找新型费米子是近年来凝聚态物理领域一个挑战性的前沿科学问题,也是该领域国际竞争的焦点之一。

继“拓朴绝缘体”“量子反常霍尔效应”“外尔费米子”之后,中国科学院物理研究所丁洪、钱天和石友国

研究组与合作者,在上海光源“梦之线”和瑞士光源利用角分辨光电子能谱实验技术,在磷化钼晶体中观测到一类具有三重简并的费米子^[32]。这是首次实验发现超出传统的狄拉克/外尔/马约拉纳类型的费米子。这一实验发现开辟了探索凝聚态体系中非传统费米子的途径,对促进人们认识量子物态、发现新奇物理现象、开发新型电子器件具有重要的意义(图7)。相关研究成果发表在2017年6月29日出版的《Nature》[546 (7660): 627–631]上^[33]。

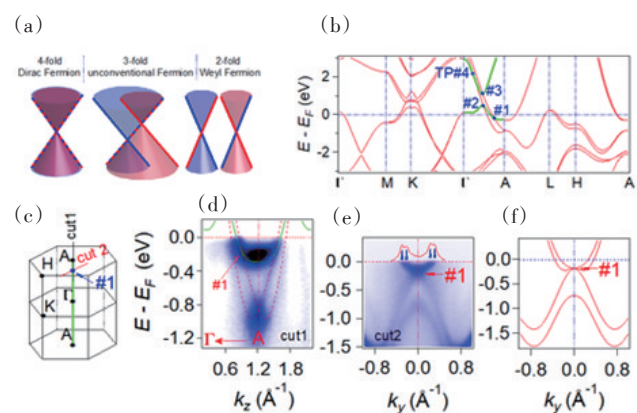


图7 WC体态电子结构中三重简并点
(图片来源:《Nature》)

1.8 发现化疗药物通过 caspase-3 诱导细胞焦亡而产生毒副作用

细胞焦亡(pyroptosis)传统是指由 caspase 蛋白酶家族成员 caspase-1 介导的、发生在单细胞中的一种促炎性的程序性细胞死亡,但其性质和机制一直不清楚。细胞焦亡在清除病原感染中发挥重要作用,过度的焦亡则会诱发多种自身炎症/免疫性疾病和败血症。已知细胞焦亡是通过炎症小体活化的 caspase-1、4、5 或 11 剪切 Gasdermin-D(GSDMD)蛋白,释放其具有膜打孔活性的结构域,导致细胞膜穿孔而发生。因此,这些 caspase 也被归为炎性 caspase,以区别于包括 caspase-3 在内的凋亡性 caspase。

北京生命科学研究所以邵峰研究组发现, Gasdermin 家族的 GSDME(其编码基因突变可导致遗传性耳聋)可以被 caspase-3 切割活化进而也诱发细胞焦亡(图8)^[34]。GSDME 可以将肿瘤坏死因子等信号诱导的 caspase-3 介导的细胞凋亡转换为焦亡。GSDME 在细胞癌化过程中由于表观遗传修饰而不表达,但在许多正常组织高表达。鉴于 caspase-3 会被肿瘤化疗药物诱导的 DNA 损伤所激活,该研究组发现很多临床常用的化疗

药物通过细胞凋亡(生理性死亡,不会导致炎症反应)杀死癌细胞,但正常组织来源的非癌细胞在这些化疗药物作用下则发生 GSDME 依赖的细胞焦亡。与焦亡的炎性坏死本质相吻合,该研究组进一步发现在小鼠中敲除 Gsdme 可以显著减轻化疗药物导致的器官损伤和体重下降等毒副作用。这些发现改变了 caspase-3 诱导细胞凋亡的传统观点,首次揭示细胞焦亡是肿瘤化疗药物毒副作用的重要原因,为改善和提高化疗效率提供了新途径。相关研究成果发表在 2017 年 7 月 6 日出版的《Nature》[547(7661): 99-103]上^[35]。

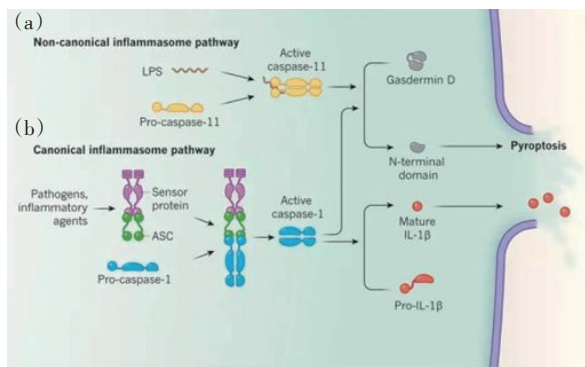


图8 细胞焦亡发生机制(图片来源:《Nature》)

1.9 揭示痒觉的核心神经环路机制

痒是一种令人不愉快的感觉,通常引起抓挠行为。皮肤病、肝病等患者经常出现慢性瘙痒症状,并且与其相伴的难以克制的长期搔抓行为可导致严重的皮肤和组织损伤。慢性瘙痒还经常引起睡眠障碍等,严重影响患者的生活质量。痒的机制尚不清楚,致使针对慢性痒治疗的药物开发严重滞后。因此,痒觉机制的研究已经成为目前医学与神经科学领域的热点之一。近年来,人们对脊髓水平的痒觉信息处理的分子和细胞机制已经有了较为深入的认识。然而,痒觉信息如何从脊髓传递到大脑并不清楚。这是痒觉研究领域的核心问题之一。

中国科学院神经科学研究所孙衍刚研究组与合作者,从脊髓水平痒觉特异的胃泌素释放肽受体(GRPR)阳性神经元入手,发现这些 GRPR 阳性神经元通过与直接投射到脑干臂旁核的神经元形成突触联系从而间接地激活臂旁核神经元,并证明该环路是痒觉信息处理的核心神经环路(图9)。该研究进一步阐明了脑干臂旁核是痒觉信息传递环路中的关键节点,并证实该脑区在慢性瘙痒的发生、发展中具有重要作用^[36]。该研究

系统地阐明了痒觉信息传递的神经环路机制,奠定了深入探索大脑中痒觉信息加工处理机制的重要基础,并为寻找慢性痒的潜在治疗靶点提供了新的方向。相关研究成果发表在 2017 年 8 月 18 日出版的《Science》[357(6352): 695-699]上^[37]。

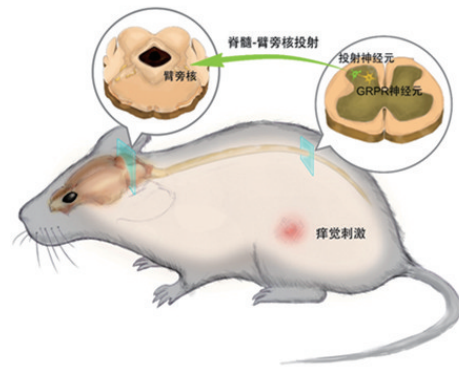


图9 痒觉信息从脊髓到大脑传递通路示意
(图片来源:《Science》)

1.10 LHCb 实验首次发现带双电荷的双粲重子

在现代粒子物理学的标准模型理论中,夸克是基本粒子,而重子是由 3 个夸克组成的复合粒子。几乎所有物质都由重子组成,其中最广为人知的就是组成物质原子核的质子和中子。夸克有 6 种,分别称为上、下、奇、粲、顶和底夸克,上、下夸克质量最小,奇、粲、顶、底夸克质量较大。质量大的夸克只能经由高能粒子的碰撞产生,如宇宙射线或粒子加速器,然后会通过粒子衰变迅速变成上夸克或下夸克。理论上不同类型的夸克相互组合可以形成不同的重子,但此前已发现的重子最多只包含 1 个质量较大的夸克,此次是实验中首次发现含 2 个重夸克的重子。

欧洲核子研究中心于 2017 年 7 月 6 日宣布,来自大型强子对撞机(LHC)上底夸克探测器(LHCb)国际合作组的科学家发现了 1 种被称为双粲重子的新粒子,该粒子带有 2 个单位电荷,质量约 3621 MeV,几乎是质子质量的 4 倍^[38]。与质子和中子类似,新发现的双粲重子也是由 3 个夸克组成的,但其夸克组分不同:质子由 2 个上夸克和 1 个下夸克组成,中子由 2 个下夸克和 1 个上夸克组成,而双粲重子则由 2 个较重的粲夸克和 1 个上夸克组成(图 10)。理论预期双粲重子的内部结构迥异于之前发现的粒子,对其性质的研究将有助于人类深入理解物质的构成和强相互作用力的本质。相关研究成果发表在 2017 年 11 月 15 日出版的《Physical Review

系统设备使用了16个单光源,经过光多载波发生装置,单芯传输容量为80 Tbit/s,系统传输总容量达到560 Tbit/s。此次实现的“560 Tbit/s 超大容量单模多芯光纤光传输系统”为国内首次,达到了国际先进水平^[42-43]。



图12 研发人员测试高速光器件
(图片来源:《楚天都市报》)

2.3 首次实现石墨烯智能人工喉

声学器件主要包括发声器件和收声器件,研究收发一体化的声学器件并应用到柔性可穿戴领域具有重要研究价值。工作在可听域(20 Hz~20 kHz)的传统发声与收声器件通常是分立器件,单器件无法同时实现发声与收声。而且传统的声学器件不具备柔韧性,但柔性可穿戴领域近些年来蓬勃发展。为了实现一整套柔性电子信息系统,有必要研究集成的柔性声学器件。

清华大学微电子研究所任天令课题组研发出一种新的智能器件(图13),创新性地提出了一种收发同体的集成声学器件,能够基于石墨烯的热声效应发射声音,并利用石墨烯的压阻效应来接收声音,从而巧妙地实现了单器件的声音收发同体。在器件制备工艺上采用了独特的激光直写技术,能够直接将成本低廉的大面积聚酰亚胺薄膜快速转化为图形化的多孔石墨烯材料。该多孔石墨烯材料具有高热导率和低热容率,能够通过热声效应发出100 Hz~40 kHz的宽频谱声音;而且对压力极为敏感,能够感知发声时喉咙处的微弱振动,可以通过压阻效应接收声音信号,从而实现了单器件声音收发一体化集成。因此,可以基于该器件感知聋哑人的低吟等特殊声音,并将这种“无含义声音”转换为频率、强度可控的声音,从而有望帮助聋哑人“开口说话”。相关研究成果发表在2017年2月24日出版的《Nature Communications》[8: 14579]上^[44]。该器件是石墨烯在可穿戴领域的全新应用,并有望在生物医疗、语音识别等领域产生重要影响^[45-46]。

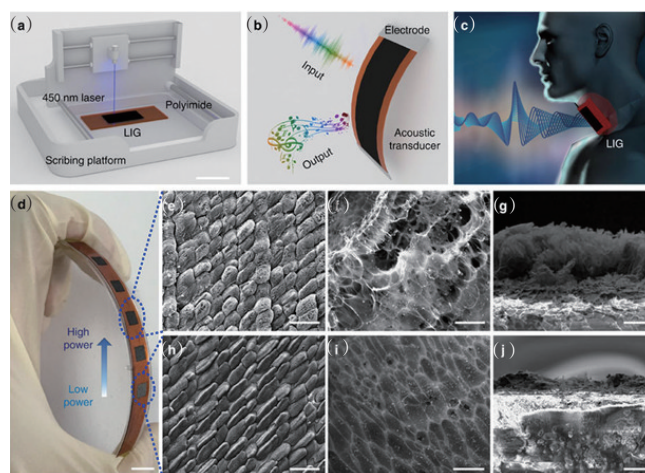


图13 石墨烯智能人工喉发声机制
(图片来源:《Nature Communications》)

2.4 研发出基于共格纳米析出强化的新一代超高强马氏体时效钢

马氏体时效钢具有超高的强度和良好的韧性,在航空航天、高速列车、深海技术、先进核能和清洁能源及国防等领域均发挥着关键作用。然而,马氏体时效钢的服役安全性和可靠性一直是人们关注的焦点。主要原因是传统马氏体时效钢以半共格析出的金属间化合物为增强相,但由于半共格界面可能导致析出相分布不均,同时伴随严重的晶格畸变,从而容易使材料受力时萌生裂纹。因此,提高马氏体时效钢的安全可靠性具有重要的意义。

北京科技大学吕昭平课题组在国家自然科学基金近10年的持续资助下,通过创新合金设计理念,发展了超强韧的高密度有序Ni(Al,Fe)纳米颗粒强化高性能新型马氏体时效钢(图14),其抗拉强度不低于2.2 GPa,拉伸塑性不低于8%。新型超高强韧钢最大限度地减小了析出相的点阵错配度,并引入“有序效应”作为主要的强化机制,这样一方面显著降低析出相的形核势垒,促进高密度和良好热稳定性的析出相均匀弥散分布,同时有效缓解增强颗粒周边微观弹性畸变,改善材料宏观均匀塑性变形能力,另一方面增强相可以有效阻碍位错切过,从而获得优异综合性能的新型马氏体时效钢。值得一提的是,新型超高强韧马氏体时效钢采用铝元素代替传统的昂贵合金元素,可添加传统认为对马氏体时效钢有害的碳元素,从而实现了高端钢铁材料的制备工艺简化和低成本的目标,有力地推动该类材料的实际工程应用。这一合金设计技术为其他超

高强度材料的发展提供了新的研究思路。相关研究成果发表在2017年4月27日出版的《Nature》[544(7651): 460-464]上^[47-48]。

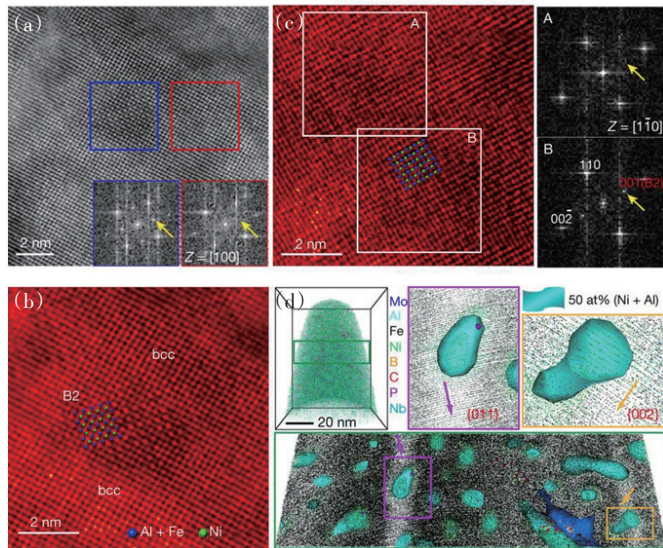


图14 利用高分辨HAADF图和APT数据3D重建确定具全晶格匹配的析出相B2结构性质
(图片来源:《Nature》)

2.5 研制出2.2 g微型化双光子荧光显微镜

一直以来,人们十分重视对大脑奥秘的探索,脑科学研究已是目前科学研究的一个重点方向。中国、美国在内的多个国家相继推出脑科学计划,致力于全景式解析脑连接图谱和功能动态图谱的研究工具。

在由北京大学分子医学研究所程和平牵头的国家重大科研仪器研制专项“超高时空分辨微型化双光子在体显微成像系统”支持下,北京大学信息科学技术学院、生物动态光学成像中心、生命科学学院、工学院,联合中国人民解放军军事医学科学院所组成的跨学科团队,运用微集成、微光学、超快光纤激光和半导体光电学等技术,在高时空分辨在体成像系统研制方面取得突破性技术革新,成功研制出2.2 g微型化佩戴式双光子荧光显微镜,可佩戴在动物头部,实时记录数十个神经元和上千个神经突触的动态信号;横向分辨率可达0.65 μm ,成像质量可与商品化大型台式双光子荧光显微镜相媲美(图15)。

该研究团队在国际上首次记录悬尾、跳台、社交等自然行为条件下,小鼠大脑神经元和神经突触活动的高速高分辨图像。此项突破性技术将开拓新的研究范式,在动物自然行为条件下,实现长时程观察神经突

触、神经元、神经网络、多脑区等多尺度、多层次动态信息处理,这样,不仅可以“看得见”大脑学习、记忆、决策、思维的过程,还将为可视化研究自闭症、阿尔茨海默病、癫痫等脑疾病的神经机制发挥重要作用。相关研究成果2017年5月29日在线发表于《Nature Methods》[14(7): 713-719]^[49-50]。

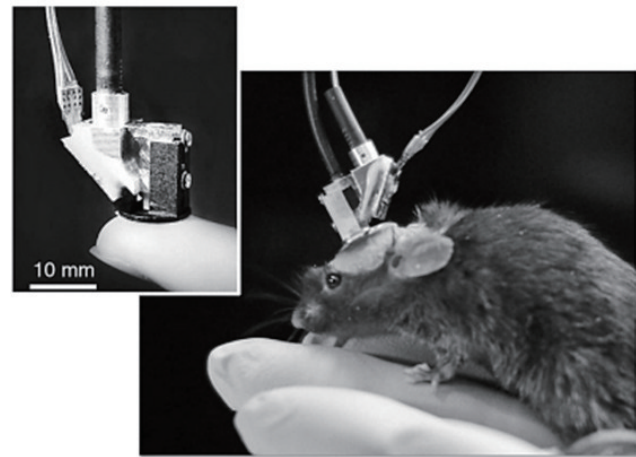


图15 头戴微型化双光子显微镜的小鼠
(图片来源:北京大学分子医学研究所)

2.6 中国第1台微波光子雷达诞生

雷达具有全天时全天候对目标探测、成像的能力,在军事民用上具有广泛应用。传统雷达以电子为载体实现信号的产生和处理,分辨率和处理速度因电子器件的带宽限制而存在提升瓶颈,难以满足未来应用对高性能雷达的需求。而微波光子雷达,以光子为信息载体,利用丰富的光谱资源和灵活的光子技术,能够更好、更快地产生和处理雷达宽带信号,具有快速成像、高分辨率和清晰辨识目标的能力。

2017年6月12日,中国科学院电子学研究所宣布成功研制出国内第1台微波光子雷达样机(图16),并通过外场非合作目标成像测试,获得国内第1幅微波光子雷达成像图样,在图像分辨率上比国际水平高出1个数量级。

该研究团队对雷达总体光子架构设计、雷达信号光子产生和光子压缩处理、成像算法等关键技术进行了攻关,经过实验平台原理验证、微波暗室转台实验、系统集成联调和外场试验等一系列测试后,成功实现了对空中随机目标——波音737飞机的快速成像。图像成图快、分辨率高,从中可以辨识如发动机、尾翼、襟翼导轨及其数量等飞机细节,充分展示了微波光子雷

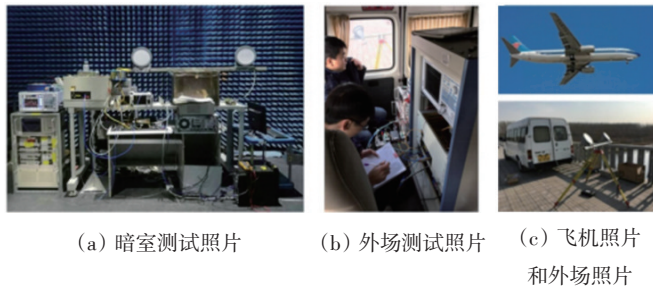


图 16 国内首部微波光子成像雷达
(图片来源:中国科学院电子学研究所)

达的优势。在已知报道的微波光子雷达中,该部雷达的外场成像分辨率最高,比国际同类雷达提高了约 30 倍,并具有将分辨率继续提升 1 个数量级的潜力^[51-52]。

2.7 “墨子号”实现星地千公里级量子纠缠和密钥分发及隐形传态

量子通信的研究内容之一是量子密钥分发。通信安全是国家信息安全和人类经济社会生活的基本需求。千百年来,人们对于通信安全的追求从未停止。然而,基于计算复杂性的传统加密技术,在原理上存在着被破译的可能性。随着数学和计算能力的不断提升,经典密码被破译的可能性与日俱增。与经典通信不同,量子密钥分发通过量子态的传输,在遥远两地的用户共享无条件安全的密钥,利用该密钥对信息进行一次一密的严格加密,这是目前人类唯一已知的不可窃听、不可破译的无条件安全的通信方式。“墨子号”量子科学实验卫星由中国完全自主研制的世界上第 1 颗空间量子科学实验卫星,于 2016 年 8 月 16 日发射升空,2017 年 1 月 18 日完成在轨测试,正式交付开展科学实验(图 17)^[53]。



图 17 “墨子号”量子科学实验卫星与阿里量子隐形传态实验平台建立天地链路(图片来源:新华网)

中国科学技术大学潘建伟和彭承志研究组联合中国科学院上海技术物理研究所王建宇研究组等,创新性地突破了天地双向高精度光跟瞄、空间高亮度量子纠缠源、抗强度涨落诱骗态量子光源、空间长寿命低噪声单光子探测等多项国际领先的关键技术,利用“墨子号”在国际上率先实现了千公里级星地双向量子纠缠分发,并在此基础上实现空间尺度严格满足“爱因斯坦定域性条件”的量子力学非定域性检验;实现了千公里级星地量子密钥分发和地星量子隐形传态,密钥分发速率比地面同距离光纤量子通信水平提高了 20 个数量级,为构建覆盖全球的天地一体化量子保密通信网络提供了可靠的技术支撑,为中国在未来继续引领世界量子通信技术发展和空间尺度量子物理基本问题检验前沿研究奠定了坚实的科学与技术基础(图 18)。相关研究成果分别发表在 2017 年 6 月 16 日出版的《Science》[356(6343): 1140-1144]^[54]、2017 年 9 月 7 日出版的《Nature》[549(7670): 43-47]^[55]和《Nature》[549(7670): 70-73]^[56]上。至此,“墨子号”量子卫星提前并圆满实现全部三大既定科学目标^[57-58]。

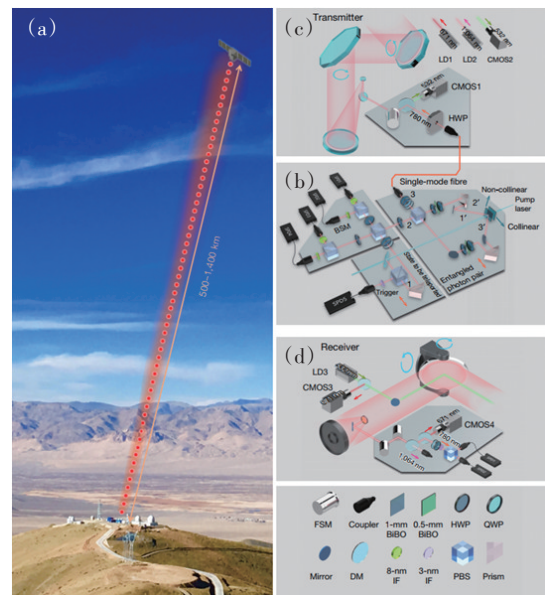


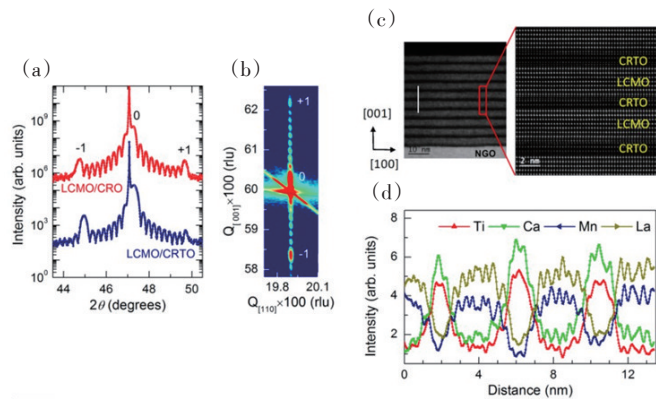
图 18 1400 km 距离的地对星单光子量子隐形传态装置
(图片来源:《Nature》)

2.8 首次制备出全氧化物人工反铁磁体

人工反铁磁体由于具有巨磁阻效应,被成功应用于商业磁存储等领域,使得当今云存盘和云计算等新兴产业成为可能。如今,人工反铁磁体不仅成为多种新型自旋电子学器件的重要组成部分(诸如磁随机存

储器等),也是研究反铁磁材料的磁化动力学和磁畴结构等基础问题的重要载体。长期以来,针对人工反铁磁体材料、物理和器件的研究多集中于过渡金属及其合金材料。过渡金属氧化物作为另一大类材料体系,因其高温超导、庞磁电阻、磁电耦合、铁电极化以及离子电导等一系列物理和化学效应,早已成为人们广为关注的研究对象。然而,在这类材料中,一种最基本的器件结构单元——全氧化物人工反铁磁体的缺失,严重阻碍了相关氧化物电子学和自旋电子学器件的研制和发展。

中国科学技术大学合肥微尺度物质科学国家研究中心吴文彬研究组与合作者首次研制出具有层分辨磁化翻转特性的全氧化物人工反铁磁体(图19)。他们发现,当超薄 $\text{La}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$ 与 $\text{CaRu}_{1/2}\text{Ti}_{1/2}\text{O}_3$ 隔离层结合时能实现AF-IEC,并被极化的中子反射谱实验所证实;层分辨磁翻转导致阶梯状的磁滞回线,磁化平台则取决于上述双层膜的堆垛重复数;该磁化结构能在几百奥斯特的低磁场下有效调制转换,并且用 $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ 作为磁性层构成的人工反铁磁体具有几近于室温的居里温度,使应用成为可能。相关研究成果发表在2017年7月14日出版的《Science》[357(6347): 191-194]上^[59-60]。



(a) X射线扫描;(b) X射线倒易空间扫描;
(c) 断面HAADF-STEM表征;(d) 界面EELS表征
图19 LCMO/CRTO人工反铁磁晶体结构表征

(图片来源:《Science》)

2.9 氧化石墨烯膜通过阳离子控制层间距实现离子筛分

氧化石墨烯膜(部分氧化的叠层状石墨烯)提供了一种超薄、高通量、高效在水溶液中进行高精度离子和分子筛选的薄膜。这种材料展现出可在多个领域具有

潜在的重要应用,包括水淡化和纯化、气体和离子分离、生物传感、质子传导、锂离子电池及超级电容器等。与碳纳米管膜具有固定尺寸的孔不同,氧化石墨烯膜的孔也就是氧化石墨烯片层之间的间距是可变的。石墨烯膜用于离子筛分和海水淡化一直面临巨大挑战:对像纸一样的石墨烯纳米片,要精确“装订”成石墨烯膜,保证其层间距固定并精确到0.1 nm这么小的尺度,非常困难;更具挑战的是,石墨烯膜在水溶液中还会发生溶胀导致分离性能严重衰减。

中国科学院上海应用物理研究所方海平、上海大学吴明红和南京工业大学金万勤等研究团队,利用 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Li^+ 或 Mg^{2+} 等阳离子通过水合阳离子- π 相互作用在埃米的精度控制氧化石墨烯膜的层间距,并且利用1种类型阳离子调控的层间距可选择性排除其他具有较大水合尺寸的阳离子,他们还设计制备了一系列水合离子控制的多孔陶瓷支撑的石墨烯复合膜,从实验上实现了不同离子间的精确筛分。密度泛函理论计算表明, Fe^{2+} 、 Co^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Cr^{2+} 和 Pb^{2+} 等阳离子与石墨烯片层相对于 Na^+ 可形成更强的阳离子- π 相互作用,提示这些离子也能够氧化石墨烯膜中形成更大范围的层间距(图20)。相关研究成果发表在2017年10月19日出版的《Nature》[550(7676): 380-383]上^[61]。该研究不仅为石墨烯膜的设计制备提供了理论与技术指导,也为其他二维材料在分离膜领域的研究开辟了新思路^[62-63]。

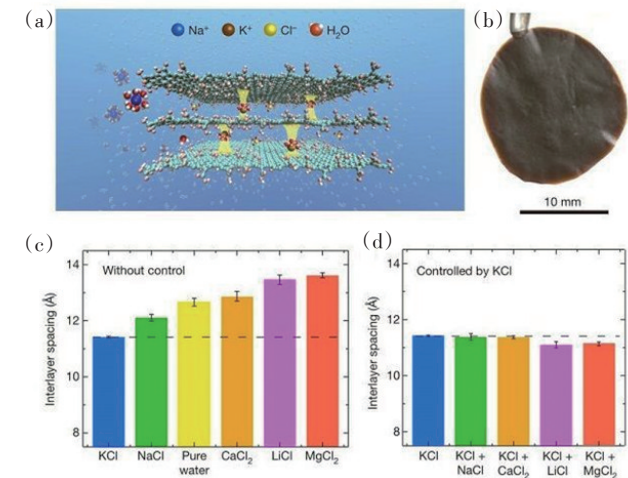


图20 阳离子调控氧化石墨烯膜层间距示意图

(图片来源:《Nature》)

2.10 寒武纪公司发布新一代人工智能芯片

2017年11月6日,北京中科寒武纪科技有限公司(寒武纪公司)发布新一代人工智能(AI)芯片,并推出

芯片产品研发路线图。寒武纪公司将力争在3年后占有中国高性能智能芯片市场30%的份额,并使全世界10亿台以上的智能终端设备集成有寒武纪终端智能处理器。如果这2个目标实现,寒武纪公司将初步支撑起中国主导的国际智能产业生态。

早在2016年,全球首款商用深度学习处理器IP产品——“寒武纪1A处理器”(图21)问世,达到了传统四核通用CPU 25倍以上的性能和50倍以上的能效。2017年9月,寒武纪1A处理器被搭载于华为Mate 10系列手机中。值得关注的是,中科曙光公司的专用AI服务器“Phaneron”,就搭载了自主知识产权的寒武纪芯片。

寒武纪公司发布了面向云端的高性能智能处理器产品线,以及3款全新的智能处理器产品:面向低功耗场景视觉应用的寒武纪1H8、拥有更广泛通用性和更高性能的寒武纪1H16及面向智能驾驶领域的寒武纪1M。与寒武纪1A相比,3款新品在功耗、能效比、成本开销等方面进行优化,性能功耗比再次实现飞跃,适用范围覆盖图像识别、安防监控、智能驾驶、无人机、语音识别、自然语言处理等重点应用领域^[64-65]。

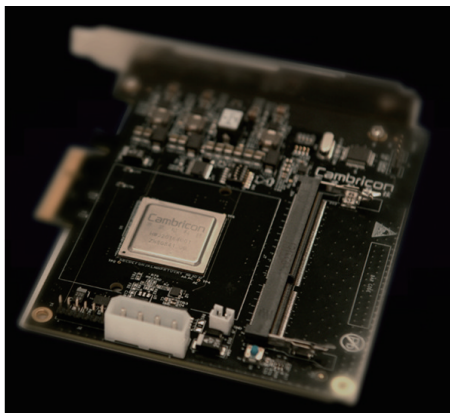


图21 安装在板卡上的寒武纪1A人工智能处理器
(图片来源:新华网)

3 2017年中国重大工程进展(10项)

3.1 全球首套煤基乙醇工业示范项目投产成功

2017年3月17日,中国科学院大连化学物理研究所和陕西延长石油集团共同研发的、具有中国自主知识产权技术的全球首套煤基乙醇工业化项目——延长石油10万吨/年合成气制乙醇装置成功打通全流程(图22),产出合格无水乙醇,并实现2个月的平稳运行,标志着全球首套煤经二甲醚羰基化制乙醇工业示范项目一次投产成功^[66]。



图22 延长石油10万吨/年合成气制乙醇装置
(图片来源:中国科学院网站)

2010年,中国科学院大连化学物理研究所刘中民团队开展了以“二甲醚羰基化制乙酸甲酯”为核心的“煤基乙醇技术关键催化剂”的研发工作,该技术是一条全新的煤基乙醇合成新路线。2012年,中国科学院大连化学物理研究所联合陕西延长石油集团开展了“煤基乙醇整套工艺技术的开发”项目研发工作。2013年,该项目完成催化剂长周期实验和再生性能实验,各项指标完全达到工业应用要求。2014年双方启动“10万吨/年乙醇工业示范”项目,该项目被列为陕西省重点科技示范项目。2015年6月,项目中试结果通过了国家能源局委托中国石油和化学工业联合会组织的技术鉴定。2016年12月,煤基乙醇工业示范装置基本建成,2016年12月下旬开始整套系统的投料试车工作,2017年1月11号生产出合格的无水乙醇^[66]。

煤基乙醇技术整个反应和分离体系全程无水,产品为无水乙醇,对原料的分离要求较低,生产能耗低;整个工艺过程腐蚀小,设备成本低;工艺灵活。可用于新建工厂,也可用于现有甲醇厂的改造,利于中国的产业结构调整。该示范项目的投产成功标志着中国将率先拥有设计和建设百万吨级大型煤基乙醇工厂的能力,对于缓解中国石油供应不足,加快石油化工原料替代,促进油品清洁化、煤炭清洁利用,保障国家粮食安全等具有重要的战略意义^[66]。

3.2 天舟一号成功交会对接天宫二号,中国稳步迈进空间站时代

2017年4月22日,中国首艘货运飞船天舟一号成功与天宫二号空间实验室完成首次交会对接(图23),中国自主研发的货运飞船与空间实验室的首次交会对接取得圆满成功。天舟一号飞行任务是中国载人航天工程“三步走”战略“第二步”的收官之战,也是空间站货物运输系统的首次飞行,其顺利实施标志着中国稳



图23 天舟一号货运飞船与天宫二号空间实验室顺利完成自动交会对接
(图片来源:中国空间技术研究院)

步迈进“空间站时代”^[67]。

2017年4月20日,中国航天科技集团公司抓总研制的天舟一号,由新型运载火箭长征七号从海南文昌航天发射场升空,开启为期5个多月的太空飞行任务。天舟一号是中国专门针对空间站而设计建造的第一艘货运飞船,与长征七号运载火箭共同组成空间站货物运输系统。这次任务是空间站货物运输系统的首次飞行,主要意义在于验证货物运输系统设计的正确性和产品的可靠性,保障载人航天工程各个系统执行货物运输任务的协调性、匹配性^[67-68]。

2017年4月22日,天舟一号与天宫二号进行首次自动交会对接;2017年6月15日,天舟一号货运飞船与天宫二号空间实验室顺利完成第二次推进剂在轨补加试验,进一步验证了这一关键技术的可靠性;第三次为自主快速交会对接,可将之前需要2天左右的交会对接过程提速到6h左右。除3次交会对接外,天舟一号还将对天宫二号实施3次推进剂在轨补加^[67]。

天舟一号顺利完成对天宫二号的推进剂在轨补加技术试验,为中国空间站组建和长期运行扫清了一个障碍。这一技术未来还有望进一步拓展,承担低轨卫星和空间飞行器“太空加油”任务,甚至充当今后深空探测的“加油站”“中转站”^[67]。

3.3 中国国产航母下水,打造中国航母建造新里程碑

2017年4月26日,中国首艘自主建造的航空母舰(001A航母)下水仪式在中国船舶重工集团公司大连造船厂举行(图24),标志着中国成为继美国、俄罗斯、英国、法国、意大利和西班牙之后,全球第7个有能力自行建造航母的国家^[69]。

中国第1艘航空母舰——“辽宁舰”由一艘旧的航母平台改造而来,是中国推进自主创新、自主研发的结

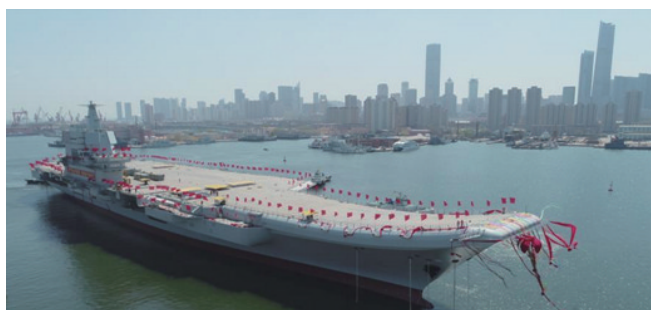


图24 中国第2艘航空母舰下水仪式在中国船舶重工集团公司大连造船厂举行
(图片来源:新华网)

果。在按计划完成建造和试验试航后,“辽宁舰”于2012年9月25日正式交接入列。辽宁舰全长300多m,宽70多m,从龙骨到桅杆的高度达到60多m,满载排水量6万余t^[70]。

001A航母是中国的首艘国产航母、中国的第2艘航空母舰,完全由中国自主研发建造,重约7万t,长315m,宽75m,巡航速度31节。2013年11月开工,2015年3月开始坞内建造。目前,001A航空母舰主船体完成建造,动力、电力等主要系统设备安装到位。出坞下水是航空母舰建设的重大节点之一,标志着中国自主设计建造航空母舰取得重大阶段性成果^[69,71]。

3.4 “慧眼”升空,填补中国空间X射线天文卫星研制空白

2017年6月15日,中国在酒泉卫星发射中心采用长征四号乙运载火箭,成功发射首颗X射线空间天文卫星“慧眼”(全称为硬X射线调制望远镜卫星HXMT)(图25)。“慧眼”是继中欧合作地球空间探测双星——“悟空号”暗物质粒子探测卫星和“墨子号”量子科学实验卫星之后,中国又一颗重要的空间科学卫星^[72]。



图25 X射线空间天文卫星“慧眼”发射升空
(图片来源:新华网)

硬X射线调制望远镜卫星工程于2011年3月由国家国防科技工业局与财政部共同批复立项,用户单位为中国科学院。其中卫星、运载火箭分别由中国航天科技集团公司中国空间技术研究院、上海航天技术研究院研制,地面测控系统由西安卫星测控中心负责^[72]。

“慧眼”卫星设计寿命4年,呈立方体构型,总质量约为2500 kg,装载高能、中能、低能X射线望远镜和空间环境监测器等4个探测有效载荷,可观测1~250 keV能量范围的X射线和200 keV~3 MeV能量范围的伽玛射线。主要工作模式包括巡天观测、定点观测和小天区扫描模式。卫星采用直接解调成像方法,通过扫描观测可以完成宽波段、高灵敏度、高分辨率的空间X射线成像,具有复杂的热控保障、对地测控与数传保障以及载荷长期工作下的能源保障能力^[72]。

“慧眼”卫星成功升空,将显著提升中国大型科学卫星研制水平,填补中国空间X射线探测卫星的空白,实现中国在空间高能天体物理领域由地面观测向天地联合观测的跨越^[72]。

3.5 高铁迎来“复兴号”标准动车组,软件全部自主研发

2017年6月26日,由中国铁路总公司牵头组织研制、具有完全自主知识产权、达到世界先进水平的中国标准动车组“复兴号”在京沪线上正式投入商业运营,率先在京沪高铁两端的北京南站(G123次)和上海虹桥站(G124次)双向首发(图26)^[73]。



图26 “复兴号”G123次列车驶出北京南站
(图片来源:《人民日报》)

“复兴号”中国标准动车组有“CR400AF”和“CR400BF”2种型号,试验时速可达400 km/h以上,持续运行时速为350 km/h。与“和谐号”相比,“复兴号”设计寿命从20年提高到30年。在车体断面增加、空间增大的情况下,按时速350 km/h试验运行,列车运行阻

力较目前运营车型下降7.5%以上,人均百公里能耗降低17%,司机室与乘客空间噪音均有所下降^[74]。

2017年7月27日,中国铁路总公司安排“复兴号”在京沪高铁开展时速350 km/h体验运营,开展了时速350 km/h实车、实重和实速检验检测、可行性研究和运营安全评估。全面系统的科学论证和综合评估表明,京沪高铁满足按设计速度350 km/h运营要求^[75]。

2017年9月京沪高铁实施新的列车运行图后,“复兴号”按时速350 km/h正式上线运营。京沪高铁全程运行时间在4.5 h左右。“复兴号”实现时速350 km/h运营,有利于实现京沪高铁设计建设目标^[75]。

3.6 宝兰高铁和兰渝铁路开通运营,中国铁路成网世界第一

2017年7月9日,宝兰高铁首趟动车组列车——D2651次列车缓缓驶出西安北站开往兰州,标志着宝兰高铁全线开通运营(图27)^[76]。



图27 宝兰高铁D2651次动车组列车穿行
陕西、甘肃交界的秦岭山脉东岔车站
(图片来源:《人民日报》)

宝兰高铁全长401 km,沿线地质地貌复杂,全线桥隧密集,桥隧比在90%以上,是中国施工难度最大的高铁之一。其中,陕西境内将近46 km,设有隧道13座,桥梁15座,桥隧总长44.57 km,占线路总长的97%;甘肃境内355 km,桥梁81座,隧道232 km,桥隧比例高达91.6%。宝兰高铁连通了丝路沿线的西安、兰州、西宁、乌鲁木齐等多个主要城市,形成了新“丝绸之路”上的

高速通道。兰州到西安将从9 h缩短到3 h;到北京从17 h缩短到8 h;到上海从23 h缩短到9 h。宝兰高铁开通后,西安与西宁将开行动车组列车7.5对,均在兰州停靠,兰州与西安、西宁将实现“同城效应”^[76]。

2017年9月29日,兰州—重庆铁路正式全线通车。兰渝铁路通车后,兰州至成都、至重庆的铁路运行时间缩短约2/3,将成为中国目前西北至西南最便捷的铁路大通道(图28)。兰州至重庆铁路途经甘肃、陕西、四川、重庆三省一直辖市22个市县(区),是客货共线双线电气化国家I级铁路,设计时速160 km,有条件路段预留200 km/h。全线通车后,兰州到重庆运输距离由1453 km缩短至886 km,客车运行时间由21 h缩短为目前的12 h;途经重庆到新疆、欧洲的中欧班列将不再绕行陇海、西康、襄渝铁路,将通过兰渝线直通兰州。兰渝铁路全线开通运营后,与现有的渝黔铁路相连接,形成兰州至重庆至广州的南北铁路大干线,将成为与京广线、京沪线并列的3条南北铁路大动脉之一^[77]。



图28 1辆列车行驶在兰渝铁路上(图片来源:新华网)

根据2016年7月新调整后发布的《中长期铁路网规划》,到2020年,中国铁路网规模将达到15万 km,其中高速铁路3万 km。届时中国将建成以“八纵八横”主通道为骨架、区域连接线衔接、城际铁路补充的现代高速铁路网^[78]。

3.7 中国可燃冰试采圆满结束,产气时长和总量创世界纪录

2017年7月9日,由国土资源部中国地质调查局组织实施的南海神狐海域天然气水合物试采工程全面完成了海上作业,标志着中国首次海域天然气水合物试采圆满结束。试采工程连续试开采60天,累计产气超过30万 m³;取得了持续产气时间最长、产气总量最大、

气流稳定、环境安全等多项重大突破性成果,创造了产气时长和总量的世界纪录(图29)^[79]。



图29 可燃冰开采现场(图片来源:中国地质调查局网站)

本次试开采作业区位于珠海市东南320 km的神狐海域。2017年3月28日第1口试开采井开钻,2017年5月10日14:52点火成功,从水深1266 m海底以下203~277 m的天然气水合物矿藏开采出天然气。截至2017年7月9日14:52,中国天然气水合物试开采连续试气点火60天,累计产气量超过30万 m³,平均日产5000 m³以上,最高产量达3.5万 m³/天,甲烷含量最高达99.5%;获取科学试验数据647万组,为后续的科学研究积累了大量翔实可靠的数据资料^[79]。

在此次开采过程中,中国自主研发的拉曼光谱探针发挥了重要作用,其在中国南海海域首次发现了裸露在海底的“可燃冰”,并证实为天然气水合物。这次试开采成功是中国首次、也是世界首次成功实现资源量占全球90%以上、开发难度最大的泥质粉砂型天然气水合物安全可控开采。经过近20年不懈努力,中国取得了天然气水合物勘查开发理论、技术、工程、装备的自主创新,实现了历史性突破^[79]。

3.8 中国建成世界最大海洋微生物资源库,实现多项第一

2017年7月22日,国家海洋局在厦门举办中国深海大洋生物资源探测开发成就新闻发布会,宣布中国大洋生物资源勘探工作取得丰硕成果,已建成世界库藏量最大和种类数最多的海洋微生物资源库^[80]。

中国大洋协会于“十五”时期(2001—2005年)启动了大洋生物基因资源的研究。近15年来,中国科研人员从太平洋、印度洋和大西洋3大洋中采集了大量的水体、沉积物、硫化物、大生物等样品中获得了大量深海微生物资源,分离了近1万株微生物,建立了第1个深海菌种库。菌种功能多样,包括高温、低温、抗重金属

等深海极端微生物,在药物筛选、环境保护、工业、农业等领域中有重要应用潜力。目前海洋微生物菌种库中细菌、真菌等海洋微生物库藏2.2万株,涵盖3400多个种,已成为全球最大的深海菌种库,并有潜在的微生物新种约500个(图30)^[80]。



图30 “蛟龙号”在南海浦元海山下潜带回的珍贵生物样品
(图片来源:新华网)

在基因资源库方面,初步构建了深海微生物基因库,完成了近300株海洋微生物的基因组测序,为深海基因资源的共享打下了良好的基础。同时,深海微生物化合物库与药源库初具规模。建立了抗菌、抗附着、抗肿瘤活性物质的高通量筛选,构建了中国第1个深海微生物代谢物库与信息库,库藏馏份达1.5万份。并分离鉴定了400多个新化合物,建立了化合物信息指纹图谱库^[80]。

深海微生物是未来的可持续开发利用的深海基因资源,是中国海洋经济发展所依赖的重要战略资源,也是深海生命科学研究的重要材料。

3.9 中国散裂中子源首次打靶成功获得中子束流,设备国产化率达96.7%

2017年8月28日,国家大科学装置——中国散裂中子源(CSNS)首次打靶成功,获得中子束流。中子源主体工程顺利验收,进入试运行和调试阶段(图31)^[81]。

散裂中子源装置建在13~18 m的地下,工程主要建设内容包括1台8000万eV的负氢离子直线加速器、1台16亿eV的快循环质子同步加速器、2条束流运输线、1个靶站、首批建设的3台谱仪及相应的配套设施和土建工程,束流功率为100 kW。其中,首批建设的3台中

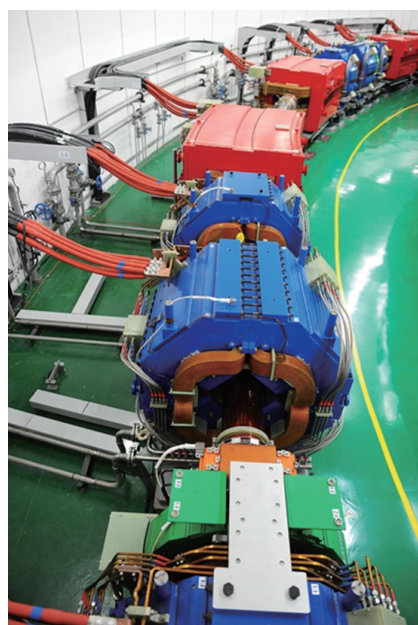


图31 中国散裂中子源装置内的快循环质子同步加速器(图片来源:视觉中国)

子谱仪为通用粉末衍射仪、多功能反射仪、小角散射仪^[81]。

2017年8月16日,CSNS低温系统启动降温模式,经过25 h平稳测试,冷箱系统内液氩温区降温至18 K,随后,氦循环冷箱加热器功率加载到700 W,进入到稳定运行状态并发出低温Ready信号。2017年8月28日,中国散裂中子源首次打靶成功,低温系统状态稳定满足了中子物理的要求。打靶后,低温系统继续运行,进行了2台液氦循环泵分别独立运行的测试,运行平稳。2017年9月13日,CSNS低温系统复温,至此低温系统完成了首轮运行。此后开始了加速器、靶站、谱仪的首次联合调试,调试进展顺利。此后散裂中子源将进一步调试,逐步提升质子束脉冲重复频率至25 Hz,使质子束流平均功率达到10 kW^[81]。

散裂中子源预计于2018年春全部完工并正式对国内外用户开放,建成后将成为发展中国家的第1台散裂中子源,并成为继英国散裂中子源、美国散裂中子源和日本散裂中子源之后的世界第4台脉冲式散裂中子源。它的建成将大幅提升中国基础研究和高技术水平^[81]。

3.10 稳态强磁场实验装置通过验收,中国成为国际5大稳态强磁场之一

2017年9月27日,国家重大科技基础设施——稳态强磁场实验装置通过国家验收。它的建成,标志着

中国已成为国际5大稳态强磁场之一,使中国成为继美国、法国、荷兰、日本之后第5个拥有稳态强磁场的国家^[82]。将带动中国物理、材料、化学、生命科学等诸多学科在强磁场等综合极端条件下的前沿探索。

稳态强磁场实验装置由国家发展改革委员会于2008年批准建设,中国科学院合肥物质科学研究院为承建法人单位,中国科学技术大学为共建单位。研制团队经过多年自主创新,建成3台场强创世界纪录的水冷磁体,建成继美国之后世界第2台40 T级混合磁体(图32)。首创SMA组合显微系统(图33),建立了国际领先水平的科学实验系统,实现了中国稳态强磁场极端条件的重大突破^[82]。



图32 混合磁体(已产生稳态磁场强度达40 T、世界第二高场强)
(图片来源:中国科学院之声)

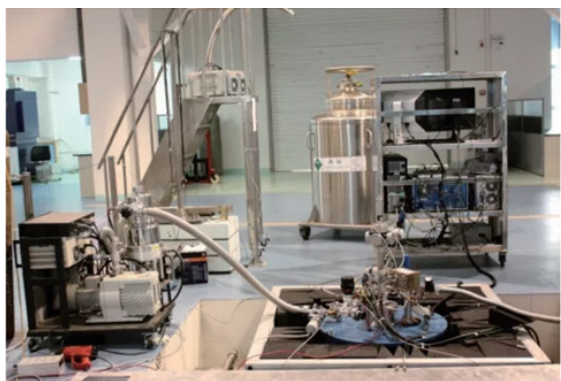


图33 SMA组合显微系统
(图片来源:中国科学院之声)

稳态强磁场实验装置是具有国际先进水平的大型科学实验装置,也是合肥综合性国家科学中心建设的标志性科研科技基础设施,对于支撑交叉前沿领域源头创新,抢占未来发展制高点具有重大意义^[83]。同时,稳态强磁场实验装置提出并实践了国家大科学装置建设边开放的管理新模式,在辐射带动发展、集聚高水平创新创业人才等方面取得显著成绩。

致谢 本次遴选中,“重大科学进展”的30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2017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] 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.
- [15] 陈广仁, 刘志远, 田恬, 等. 2016年中国重大科学、技术和工程进展[J]. 科技导报, 2017, 35(3): 13-28.
- [16] 物理系尤力等在《科学》发文报道确定性制备近千个原子纠缠态[EB/OL]. [2017-02-12]. http://www.tsinghua.edu.cn/publish/thunews/9659/2017/20170212183344600345000/201702-12183344600345000_.html.
- [17] Luo X Y, Zou Y Q, Wu L N, et al. Deterministic entanglement generation from driving through quantum phase transitions[J]. Science, 2017, 355(6325): 620-623.
- [18] 《科学》杂志报道中国古人类重要研究成果: 发现新的古老型人类——许昌人[EB/OL]. [2017-03-03]. http://www.ivpp.ac.cn/xwdt/kydt/201703/t20170303_4754397.html.
- [19] Li Z Y, Wu X J, Zhou L P, et al. Late Pleistocene archaic human crania from Xuchang, China[J]. Science, 2017, 355(6328): 969-972.

- [20] 人工合成4条酵母染色体 我国科学家开启“再造生命”新纪元[EB/OL]. [2017-03-10]. <http://scitech.people.com.cn/n1/2017/0310/c1007-29135176.html>.
- [21] Xie Z X, Li B Z, Mitchell L A, et al. "Perfect" designer chromosome V and behavior of a ring derivative[J]. *Science*, 2017, 355(6329), doi: 10.1126/science.aaf4704.
- [22] Wu Y, Li B Z, Zhao M, et al. Bug mapping and fitness testing of chemically synthesized chromosome X[J]. *Science*, 2017, 355(6329), doi: 10.1126/science.aaf4706.
- [23] Shen Y, Wang Y, Chen T, et al. Deep functional analysis of synII, a 770-kilobase synthetic yeast chromosome[J]. *Science*, 2017, 355(6329), doi: 10.1126/science.aaf4791.
- [24] Zhang W, Zhao G, Luo Z, et al. Engineering the ribosomal DNA in a megabase synthetic chromosome[J]. *Science*, 2017, 355(6329), doi: 10.1126/science.aaf3981.
- [25] 清华大学等首次揭示国际贸易带来PM_{2.5}跨界健康影响[EB/OL]. [2017-03-30]. http://news.tsinghua.edu.cn/publish/thunews/9650/2017/20170330142935293947467/170330142935293947467_.html.
- [26] Zhang Q, Jiang X, Tong D, et al. Transboundary health impacts of transported global air pollution and international trade [J]. *Nature*, 2017, 543(7647): 705-709.
- [27] 许执恒研究组合作在寨卡病毒致病机制研究中取得重大进展[EB/OL]. [2017-09-30]. http://www.genetics.ac.cn/xwzx/kyjz/201709/t20170930_4867315.html.
- [28] Liu Y, Liu J, Du S, et al. Evolutionary enhancement of Zika virus infectivity in *Aedes aegypti* mosquitoes[J]. *Nature*, 2017, 545(7655): 482-486.
- [29] Yuan L, Huang X Y, Liu Z Y, et al. A single mutation in the prM protein of Zika virus contributes to fetal microcephaly[J]. *Science*, 2017, 358(6365): 933-936.
- [30] 植物-微生物相互作用研究取得重大进展[N]. *人民日报*, 2017-06-09(12).
- [31] Jiang Y, Wang W, Xie Q, et al. Plants transfer lipids to sustain colonization by mutualistic mycorrhizal and parasitic fungi[J]. *Science*, 2017, 356(6343): 1172-1175.
- [32] 我国科学家首次发现新型费米子[N]. *光明日报*, 2017-06-21(1).
- [33] Ma J Z, He J B, Xu Y F, et al. Three-component fermions with surface Fermi arcs in topological semimetal tungsten carbide[J]. *Nature*, 546(7660): 627-631.
- [34] 我所邵峰实验室在《Nature》杂志在线发表题为“Chemotherapy drugs induce pyroptosis through caspase-3 cleavage of a Gasdermin”的研究论文[EB/OL]. [2017-05-09]. <http://www.nibs.ac.cn/newshow.php?cid=4&sid=15&id=1762>.
- [35] Wang Y, Gao W, Shi X, et al. Chemotherapy drugs induce pyroptosis through caspase-3 cleavage of a gasdermin[J]. *Nature*, 2017, 547(7661): 99-103.
- [36] 《科学》发表中科院神经所关于痒觉传导机制的研究成果[EB/OL]. [2017-08-18]. <http://www.ion.ac.cn/chinese/news/info.asp?ID=1212>.
- [37] Mu D, Deng J, Liu K F, et al. A central neural circuit for itch sensation.[J]. *Science*, 2017, 357(6352): 695-699.
- [38] LHCB实验首次发现双粲重子[EB/OL]. [2017-07-06]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2017/7/381602.shtm>.
- [39] Aaij R, Adeva B, Adinolfi M, et al. Observation of the doubly charmed baryon Ξ_{cc}^{++} [J]. *Physical Review Letters*, 2017, 89(11): 1401-1412.
- [40] Qiu C, Zhang Z, Xiao M, et al. Scaling carbon nanotube complementary transistors to 5 nm gate lengths[J]. *Science*, 2017, 355(6322): 271-276.
- [41] 聂翠蓉. 我率先制备出5纳米栅长碳纳米管[N]. *科技日报*, 2017-01-24(1).
- [42] 徐海波. 我国实现一根光纤可供135亿人同时通话[EB/OL]. [2018-01-23]. http://news.xinhuanet.com/local/2017-02/05/c_1120412764.htm.
- [43] 刘志伟, 李胜璐. 一根光纤可供135亿人同时通话[N]. *科技导报*, 2017-02-06(1).
- [44] Tao L Q, Tian H, Liu Y, et al. An intelligent artificial throat with sound-sensing ability based on laser induced graphene [J]. *Nature Communications*, 2017, 8: 14579.
- [45] 华凌. 石墨烯“人工喉”让霍金也渴求[J]. *科技日报*, 2017-04-21(6).
- [46] 清华微电子所任天令课题组首次实现石墨烯智能人工喉[EB/OL]. [2018-01-23]. http://news.tsinghua.edu.cn/publish/thunews/9659/2017/20170301133928684416844/20170301133928684416844_.html.
- [47] Jiang S H, Wang H, Wu Y, et al. Ultrastrong steel via minimal lattice misfit and high-density nanoprecipitation[J]. *Nature*, 2017, 544(7651): 460-464.
- [48] 操秀英. 新型超高强钢突破2000兆帕强度极限[N]. *科技日报*, 2017-04-13(1).
- [49] Zong W J, Wu R L, Li M L, et al. Fast high-resolution miniature two-photon microscopy for brain imaging in freely behaving mice[J]. *Nature Methods*, 2017, 14(7): 713-719.
- [50] 王庆环. 我科学家成功研制新一代微型显微镜[N]. *光明日报*, 2017-06-01(6).
- [51] 李大庆. 我国第一台微波光子雷达诞生[N]. *科技日报*, 2017-06-13(1).
- [52] 电子所成功研制国内首部微波光子雷达[EB/OL]. (2017-06-12)[2018-01-23]. http://www.ie.ac.cn/txw2016/201706/t2017-0612_4811110.html.
- [53] 世界首颗量子科学实验卫星“墨子号”正式交付使用[EB/OL]. (2017-01-18)[2018-01-23]. http://www.xinhuanet.com/photo/2017-01/18/c_1120339681.htm.
- [54] Yin J, Cao Y, Li Y H, et al. Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers[J]. *Science*, 2017, 356(6343): 1140-1144.
- [55] Liao S K, Cai W Q, Liu W Y, et al. Satellite-to-ground quantum key distribution.[J]. *Nature*, 2017, 549(7670): 43-47.
- [56] Ren J G, Xu P, Yong H L, et al. Ground-to-satellite quantum teleportation[J]. *Nature*, 2017, 549(7670): 70-73.
- [57] “墨子号”量子卫星实现三大目标[EB/OL]. (2017-08-10)[2018-01-23]. <http://politics.people.com.cn/n1/2017/0810/c1->

- 001-29461201.html.
- [58] 李大庆. “墨子号”圆满实现三大既定科学目标[N]. 科技日报, 2017-08-10(1).
- [59] Chen B B, Xu H R, Ma C, et al. All-oxide-based synthetic antiferromagnets exhibiting layer-resolved magnetization reversal[J]. *Science*, 2017, 357(6347): 191-194.
- [60] 柯讯. 中科院制备成功新型人工反铁磁体[N]. 中国科学报, 2017-07-18(1).
- [61] Chen L, Shi G, Shen J, et al. Ion sieving in graphene oxide membranes via cationic control of interlayer spacing[J]. *Nature*, 2017, 550(7676): 380-383.
- [62] 孙宏伟, 张国俊. 我国学者在氧化石墨烯膜研究领域取得重要进展[EB/OL]. (2017-10-26)[2018-01-23]. <http://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab434/info71741.htm>.
- [63] 张晔. 石墨烯膜淡化海水成功[N]. 科技日报, 2017-10-17(1).
- [64] 王莹. 寒武纪发布新一代人工智能芯片 未来3年覆盖10亿台智能终端[EB/OL]. (2017-11-06)[2018-01-23]. http://www.xinhuanet.com/local/2017-11/06/c_129734098.htm.
- [65] 赵竹青. 我国发布“寒武纪”新一代人工智能芯片[EB/OL]. (2017-11-06)[2018-01-23]. <http://scitech.people.com.cn/n1/2017/11/06/c1007-29630358.html>.
- [66] 全球首套煤基乙醇工业示范项目投产成功[EB/OL]. (2017-03-17)[2017-12-21]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2017/3/370903.shtm>.
- [67] 李国利, 王经国, 陈曦, 等. 我国稳步迈进“空间站时代”[EB/OL]. (2017-04-23)[2017-12-20]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2017/4/374293.shtm>.
- [68] 天舟与天宫对接: 送给“中国航天日”最好的礼物[EB/OL]. (2017-04-23)[2017-12-20]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2017/4/374313.shtm>.
- [69] 我国第二艘航空母舰下水[EB/OL]. (2017-04-26)[2017-12-19]. http://www.xinhuanet.com/politics/2017-04/26/c_112087-5256.htm.
- [70] 于晓泉, 毛俊. 我国第一艘航母——辽宁舰[EB/OL]. (2017-07-23)[2017-12-19]. http://jz.chinamil.com.cn/n2014/tp/content_7679061.htm.
- [71] 第一艘国产航母成功下水[EB/OL]. (2017-04-26)[2017-12-19]. http://www.sohu.com/a/136547977_599340.
- [72] 王佳雯. 我国首颗X射线空间天文卫星发射成功[EB/OL]. (2017-06-15)[2017-12-23]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2017/6/379494.shtm>.
- [73] 史家民, 沈文敏. 五年重大工程巡礼: “复兴号”出发[N/OL]. (2017-06-27)[2017-12-23]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2017/6/380593.shtm>.
- [74] 陆娅楠. 五年重大工程巡礼: 高铁驶来“复兴号”[N/OL]. (2017-06-26)[2017-12-23]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2017/6/380452.shtm>.
- [75] 姚晓岚. 复兴号9月起提速至350公里[EB/OL]. (2017-07-27)[2017-12-23]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2017/7/383528.shtm>.
- [76] 陆娅楠, 付文, 张丹华. 五年重大工程巡礼: 宝兰高铁开通运营[N]. 人民日报, 2017-07-10.
- [77] 兰渝铁路今全线通车: 成我国西北至西南最便捷铁路大通道[EB/OL]. (2017-09-29)[2017-12-23]. http://china.cnr.cn/xwwgf/20170929/t20170929_523971129.shtml.
- [78] 樊曦, 齐中熙. 中国高铁成网世界第一 技术全面自主[EB/OL]. (2017-07-20)[2017-12-23]. https://www.sohu.com/a/158486687_161623.
- [79] 唐贵江. 可燃冰试采60天产气超30万立方米 实施关井[EB/OL]. (2017-07-09)[2017-12-25]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2017/7/381773.shtm>.
- [80] 阮煜琳. 中国建成世界最大海洋微生物资源库 实现多项第一[EB/OL]. (2017-07-22)[2017-12-25]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2017/7/383065.shtm>.
- [81] 王佳雯. 中国散裂中子源首次打靶成功获得中子束流 设备国产化率达96.7%[EB/OL]. (2017-09-03)[2017-12-27]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2017/9/386991.shtm>.
- [82] 我建成稳态强磁场实验装置 跃居世界五强[EB/OL]. (2017-09-28)[2017-12-27]. <http://tech.sina.com.cn/roll/2017-09-28/doc-ifymkxmh7510650.shtml>.
- [83] 高雅丽. “稳态强磁场实验装置”通过国家验收 我国成为国际五大稳态强磁场之一[EB/OL]. (2017-09-27)[2017-12-28]. <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2017/9/389713.shtm>.

Top advances of science, technology and engineering from China in 2017

CHEN Guangren, LIU Zhiyuan, TIAN Tian, ZHU Yehua

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

Abstract In the annual event for selecting top advances in science, technology and engineering of the year by Editorial Department of *Science & Technology Review*, the top 10 scientific achievements, top 10 technological achievements, and top 10 engineering achievements from China in 2017 were selected respectively among all the 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 respectively in three categories, in each category the achievements are arranged in a order of their publishing times.

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



(责任编辑 刘志远)