

2022年中国重大科学、技术和工程进展

王康友, 刘志远, 祝叶华, 徐丽娇*

《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,从国内外著名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2022年中国重大科学、技术和工程进展30项。(1) 2022年中国重大科学进展10项:探测到重复快速射电暴密近环境的动态演化;解析新冠病毒突变株奥密克戎免疫逃逸的分子机制;发现黏附类GPCR识别和激活新机制;实现世界纪录效率的全钙钛矿叠层太阳能电池制备新途径;测定超高热导率半导体砷化硼载流子迁移率;发现促使胆固醇排出体外的降脂新方法;揭示火星乌托邦平原浅表精细结构和物性特征;发现志留纪化石库为解答有颌脊椎动物起源提供确凿证据;实现光催化剂光生电荷转移过程的全时空成像;开创海水原位电解制氢新原理与新方法。(2) 2022年中国重大技术进展10项:在高温超导体中诱导出奇异金属态;实现超快激光三维极端制造重大突破;实现三原子分子的量子相干合成;建立蛋白质从头设计新方法;制备出亚1 nm栅极长度的晶体管;发现并编辑*KRN2*基因可同时提高水稻玉米产量;提出全新诱导人多潜能干细胞制备技术;创制出新型碳同素异形体单晶;制备出具备超高导电率的可溶液加工n型导电聚合物;提出一种集成化的元成像芯片架构。(3) 2022年中国重大工程进展10项:全球首艘10万吨级智慧渔业大型养殖工船下水运营;世界最大单机LHD1.6 MW潮流能发电机组启动运行;鲲龙AG600全状态新构型灭火机首飞成功;中国第三艘航空母舰成功下水;世界首条环沙漠铁路全线贯通;中国运载能力最大固体运载火箭“力箭一号”首飞成功;中国初步建立综合性太阳观测网;中国国家太空实验室正式成型;全球单机容量最大16 MW海上风电机组下线;中国首台F级50 MW重型燃气轮机开启工程应用。

关键词 中国科技成就;重大科学进展;重大技术进展;重大工程进展

收稿日期:2023-01-30;修回日期:2023-02-06

作者简介:王康友,研究员,研究方向为科技传播,电子信箱:wangkangyou@cast.org.cn;徐丽娇(通信作者),博士,研究方向为科技编辑学,电子信箱:xvljiao@cast.org.cn

引用格式:王康友, 刘志远, 祝叶华, 等. 2022年中国重大科学、技术和工程进展[J]. 科技导报, 2023, 41(3): 6-28; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2023.03.001

《科技导报》自2004年第3期刊登“2003年中国重大科学、技术与工程进展”以来,至今已连续19年遴选发布中国年度重大科学、技术和工程进展^[1-20]。为盘点2022年中国重大科学、技术和工程进展,《科技导报》编辑部从国内外著名科技期刊和科技新闻媒体2022年1月1日至12月31日间发表、公布或报道的中国科技成果中,遴选、推荐24项重大科学进展、29项重大技术进展、35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,参考每项进展的得票情况,推选出2022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,以下按发表、公布及报道的时间先后逐一介绍。

1 2022年中国重大科学进展(10项)

1.1 探测到重复快速射电暴密近环境的动态演化

快速射电暴(fast radio burst, FRB)是宇宙中最明亮的射电爆发现象,2007年国际上首次确定它的存在,2016年第一例重复爆发的快速射电暴被探测到,该领域一直是天文研究的重大前沿热点。

中国科学院国家天文台李菡团队^[21]通过500米口径球面射电望远镜(five-hundred-meter aperture spherical radio telescope, FAST)平台,采用原创的中性氢窄线自吸收方法,首次获得原恒星核包层中具有高置信度的塞曼效应测量结果。研究发现,星际介质具有连贯性的磁场结构,异于标准模型预测,为解决恒星形成3大经典问题之一的“磁通量问题”提供了重要的观测证据^[22]。

针对以FRB 20190520B、FRB 20121102A为代表的活跃重复暴,研究团队系统分析了FAST和美国绿岸射电天文望远镜(Robert C. Byrd Green Bank Telescope, GBT)的多项观测数据,首次提出了能够统一解释重复快速射电暴偏振频率演化的机制,并基于此推导出能够描述快速射电暴周边环境单一参数,即“RM弥散”^[23-24]。

研究团队还进一步利用FAST发现了世界首例持续活跃的快速射电暴,命名为“FRB 20190520B”(图1),并确认近源区域拥有目前已知的最大电子

密度^[25]。FRB 20190520B持续活跃的特征有效推进了快速射电暴多波段研究,成为深度刻画重复快速射电暴现象的重要进展。

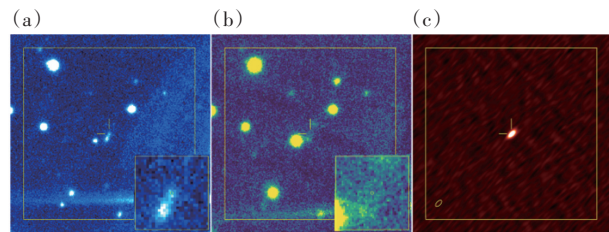


图1 FRB 20190520B的光学、红外和射电图像
(图片来源:《Nature》)

同时,FAST研究团队^[26]对另一位于银河系外的活跃快速射电暴FRB 20201124A进行深度观测,在54 d共计82 h内,观测到了1863个爆发脉冲信号。基于这一迄今为止最大的快速射电暴偏振观测样本,团队首次探测到距离快速射电暴中心仅1个天文单位(即太阳到地球的距离)周边环境的磁场变化,向着揭示快速射电暴中心引擎机制迈出重要一步^[27]。

1.2 实现世界纪录效率的全钙钛矿叠层太阳能电池制备新途径

实施“双碳”目标是中国作出的重大战略决策,发展清洁低成本的太阳能光伏器件,是实现“双碳”目标的重要途径与技术保障。钙钛矿太阳能电池具有高效率、低成本等优势,构建基于钙钛矿材料的叠层太阳能电池,突破单结光伏器件的效率极限,是提升钙钛矿光伏效率与应用的有效途径^[28]。但全钙钛矿叠层电池光电转换效率低于单结钙钛矿电池,其中窄带隙钙钛矿晶粒表面缺陷密度高、载流子扩散长度短,是制约叠层电池效率的瓶颈。

南京大学现代工程与应用科学学院谭海仁团队^[29]通过钝化窄带隙钙钛矿晶粒表面缺陷来提升薄膜的载流子扩散长度,从而制备出具有较厚吸光层和更高短路电流密度的电池,成功将全钙钛矿叠层电池的短路电流密度提升到16.5 mA/cm²以上,实现了更高效的全钙钛矿叠层太阳能电池。经日本电气安全和环境技术实验室(JET)认证,该全钙钛矿叠层电池稳态光电转换效率高达26.4%,在国际上首次超越单结钙钛矿电池的最高认证效率

25.7%,与目前晶硅电池最高效率相当^[30]。这项工作利用钙钛矿材料制备高效率低成本太阳能电池中迈出了重要的一步。

为了进一步推动全钙钛矿叠层电池的产业化,谭海仁团队^[31]运用涂布印刷、真空沉积等量产化技术,在国际上首次实现了全钙钛矿叠层光伏组件的制备,开创性地采用原子层沉积(atomic layer deposition, ALD)制备致密的 SnO₂ 电子传输层(ALD-

SnO₂),阻隔组件互连区域钙钛矿与金属背电极的接触,显著提升了组件的制备重复性、光伏性能以及稳定性(图2),实现了国际认证效率高达21.7%的大面积叠层组件,创造了钙钛矿光伏组件新的世界纪录。该研究开辟了大面积钙钛矿叠层电池量产化、商业化的全新路径,被《太阳电池世界纪录表》(solar cell efficiency tables, version 59)收录^[32]。

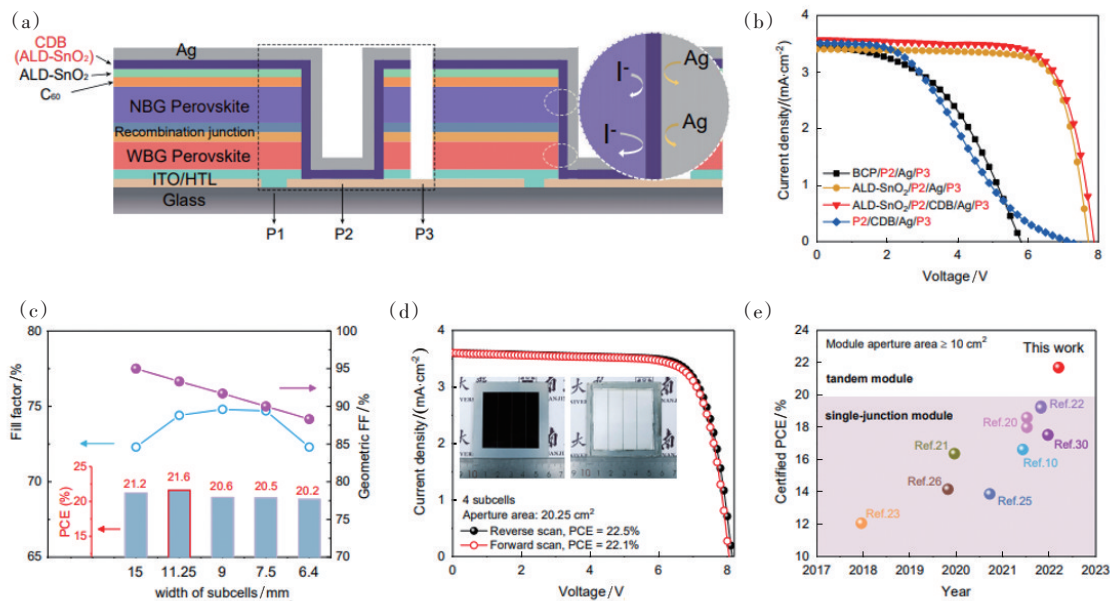


图2 全钙钛矿叠层太阳能组件(图片来源:《Science》)

1.3 解析新冠病毒突变株奥密克戎免疫逃逸的分子机制

新型冠状病毒(新冠病毒)突变株奥密克戎 BA.1、BA.2、BA.2.12.1、BA.4、BA.5 等的接连出现,对疫苗接种的预防效果和抗体药物的治疗效果提出了严峻挑战,解析新冠病毒突变株的体液免疫逃逸机制,对于新冠疫苗研发和疫情防控具有重要指导意义^[33]。

中国科学院生物物理研究所王祥喜团队等^[34-35]较为系统地研究了奥密克戎突变株的病原学与免疫特性、加强针免疫所对应的一组广谱性中和抗体的特征分析、代表性广谱中和抗体的中和机制分析以及冠状病毒识别 ACE2 的内在规律。通过对 280 对中和抗体与 S 蛋白的复合物进行结构

解析,证明了长时间、重复的抗原刺激能够引发抗体持续的体细胞突变、记忆 B 细胞转换以及记忆 B 细胞抗体组成比例改变,进而产生更强、更广谱的单克隆抗体群^[36]。

北京大学生物医学前沿创新中心、昌平实验室谢晓亮/曹云龙团队^[37]通过高通量单细胞测序、分离并表征上千个新冠单克隆中和抗体后,发现奥密克戎突变株 BA.2.12.1、BA.4、BA.5 新亚型呈现出更强的免疫逃逸能力,并且对奥密克戎 BA.1 感染者康复后血浆出现了显著的中和逃逸现象,证明通过奥密克戎感染实现群体免疫来阻断新冠传播无法实现^[38]。研究人员还进一步对不同免疫背景人群中分离得到的抗体进行了大规模中和测定和逃逸图谱表征,发现由于“免疫印迹”现象的存在,奥密

克戎亚型变体突破感染后产生的抗体多样性逐渐降低(图3)^[39]。另外,研究证明广谱中和抗体药物组合 SA55+SA58,特别是 SA55,仍然强效中和所有主要突变株和未来短期内可能流行的突变株,且同

时具有治疗和预防作用^[40]。这项研究前瞻性地对病毒未来突变演化方向进行了预测,为广谱疫苗和抗体药物的设计与研发提供了宝贵的理论与数据支持^[41]。

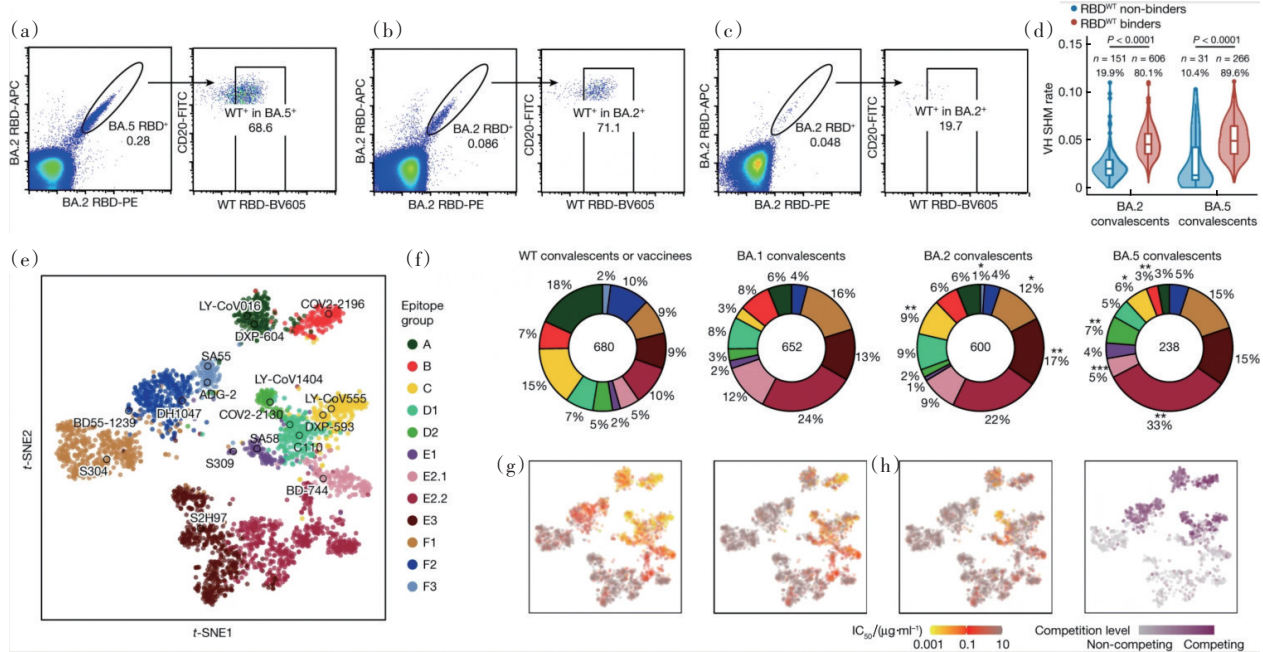


图3 奥密克戎亚型变异株突破感染刺激产生抗体的表位表征(图片来源:《Nature》)

1.4 发现黏附类GPCR识别和激活新机制

G 蛋白偶联受体(G protein-coupled receptor, GPCR)在人体的细胞信号转导中发挥重要作用,超40%的上市药物通过GPCR发挥疗效,围绕GPCR的药物研发一直是国际医药产业的竞争高地^[42]。黏附类G 蛋白偶联受体(adhesion G protein-coupled receptor, aGPCR)是GPCR超家族中的一类,共33个成员,是癌症和神经系统等疾病的潜在药物作用靶点。但是,aGPCR分子结构和功能调控机制非常复杂,绝大多数成员为配体和功能未知的孤儿受体,相关研究的匮乏极大制约了对于GPCR的全面认识,其药物研发潜力亟待挖掘^[43]。

山东大学基础医学院孙金鹏、于晓团队,中国科学院上海药物研究所吴蓓丽团队先后解析了5种黏附类受体与G蛋白的复合物三维结构,在国际上首次阐明这类孤儿受体自发激活的分子机制,为生理病理机制研究和药物设计提供重要依据。

孙金鹏团队^[44]解析了2种感知机械力的黏附类

受体GPR133、GPR114与下游蛋白Gs的复合物电镜结构,证明了受体感知机械力后通过Stachel序列激活,并确定Stachel中由5个疏水氨基酸组成的保守HIM在Stachel序列与受体相互作用中起着核心作用^[45]。此外,于晓和孙金鹏团队^[46]还通过冷冻电镜技术解析了2种aGPCR(ADGRG2和ADGRG4)分别与G蛋白结合的复合物结构,发现Stachel序列的5个疏水氨基酸呈手指状分布,提出了aGPCR的“手指模型”激活模式。该研究阐明了aGPCR自激活及对机械力感知的机制,并创新性构思出通用多肽配体拮抗剂的开发方案,为精准靶向aGPCR配体的设计和开发奠定了基础^[47]。同时,吴蓓丽团队成功解析了另外2种aGPCR(ADGRD1和ADGRF1)分别与G蛋白结合的复合物三维结构(图4)^[48],发现位于受体胞外结构域和跨膜结构域之间的一段多肽(stalk)可作为内源性激动剂激活受体,首次阐明这类孤儿受体自发激活的分子机制。此项研究有助于靶向这2种aGPCR的癌症治疗药物开发。

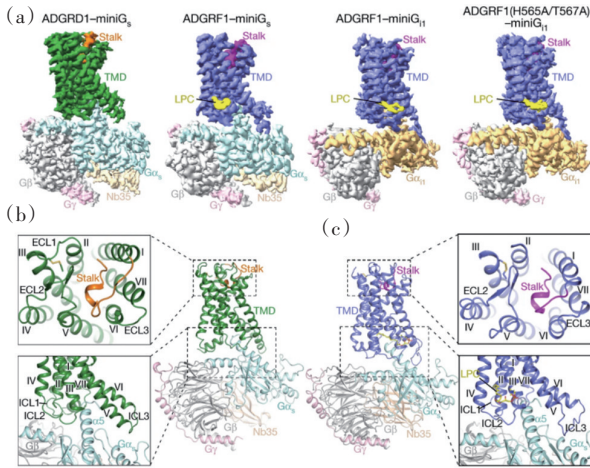


图4 G蛋白结合的ADGRD1和ADGRF1的整体结构(图片来源:《Nature》)

1.5 测定超高热导率半导体砷化硼载流子迁移率

硅是目前应用最广泛的半导体材料,从太阳能电池到计算机芯片都离不开硅。但是,随着芯片集成规模的进一步增大,硅的导热性能不佳和迁移率不高等问题成为制约芯片发展的重要因素。因此,探寻具有高导热率、高载流子迁移率的新型半导体材料是学界和企业界关注的热点。

国家纳米科学中心刘新风团队^[49]发现了人类迄今为止最佳半导体材料——立方砷化硼(c-BAs),为解决CPU主频升级困难的世界级难题迈出关键性一步。研究人员通过反复比较大量样品,综合应用X射线衍射(XRD)、拉曼和带边荧光信号判断样品纯度的方法,挑选出了高纯样品。进一步采用有高灵敏度、高时间和空间分辨能力的超快载流子扩散显微成像系统,详细比较了具有不同杂质浓度的立方砷化硼的载流子扩散速度,在世界上首次在高纯样品区域测定立方砷化硼材料的真实迁移率约为 $1550 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 。该团队还通过高能量(3.1 eV, 400 nm)光子激发,发现了长达20 ps的热载流子扩散过程,其迁移率大于 $3000 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ (图5)。本研究测定了立方砷化硼高的载流子和热载流子迁移速率,以及其超高的热导率,表明其可以广泛应用在光电器件、电子元件中^[50],为当前芯片散热和算力提高的瓶颈问题指明了方向。

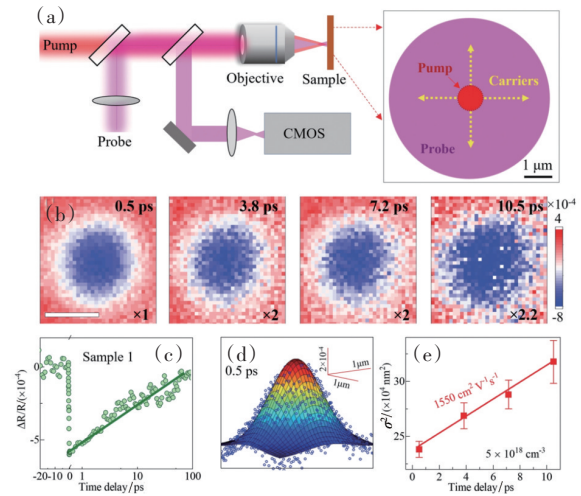


图5 瞬态反射显微成像和在c-BAs中的载流子扩散(图片来源:《Science》)

1.6 发现促使胆固醇排出体外的降脂新方法

胆固醇是一类在人体多种重要生理过程中发挥广泛作用的脂质小分子,它的代谢水平与脑中风、冠心病等心脑血管疾病密切相关。胆固醇在生物体内很难被降解,寻找将多余的胆固醇排出人体的方法,是研发新型降脂药物,治疗心脑血管疾病的有效手段。现有降脂药虽能不同程度地降低血脂,但存在一定的副作用和局限性。

ASGR1是一种糖蛋白受体,主要在肝细胞膜上表达。全基因组关联分析显示ASGR1基因突变与低血脂相关,但是分子机制并不清楚。武汉大学宋保亮团队^[51]发现促使胆固醇外排从而降脂的新方法。研究人员用RNAi或中和抗体抑制ASGR1功能,促使胆固醇外排入胆汁,进一步通过粪便排出机体,从而降低血液和肝脏中的脂质水平(图6)^[51]。研究团队还研发了ASGR1的中和抗体,该抗体可以将小鼠的血清总胆固醇水平降低50%,同时将血清甘油三酯水平降低22%。研究表明该抗体可以有效促使胆固醇外排,并与现有降脂药物(如他汀和依折麦布)联用起到更加显著的降脂效果^[52]。该研究为研发促使胆固醇外排的降脂药物奠定了重要基础,具有潜在的经济和社会效益。

1.7 揭示火星乌托邦平原浅表精细结构和物性特征

探索火星的地下结构和物性信息是研究火星

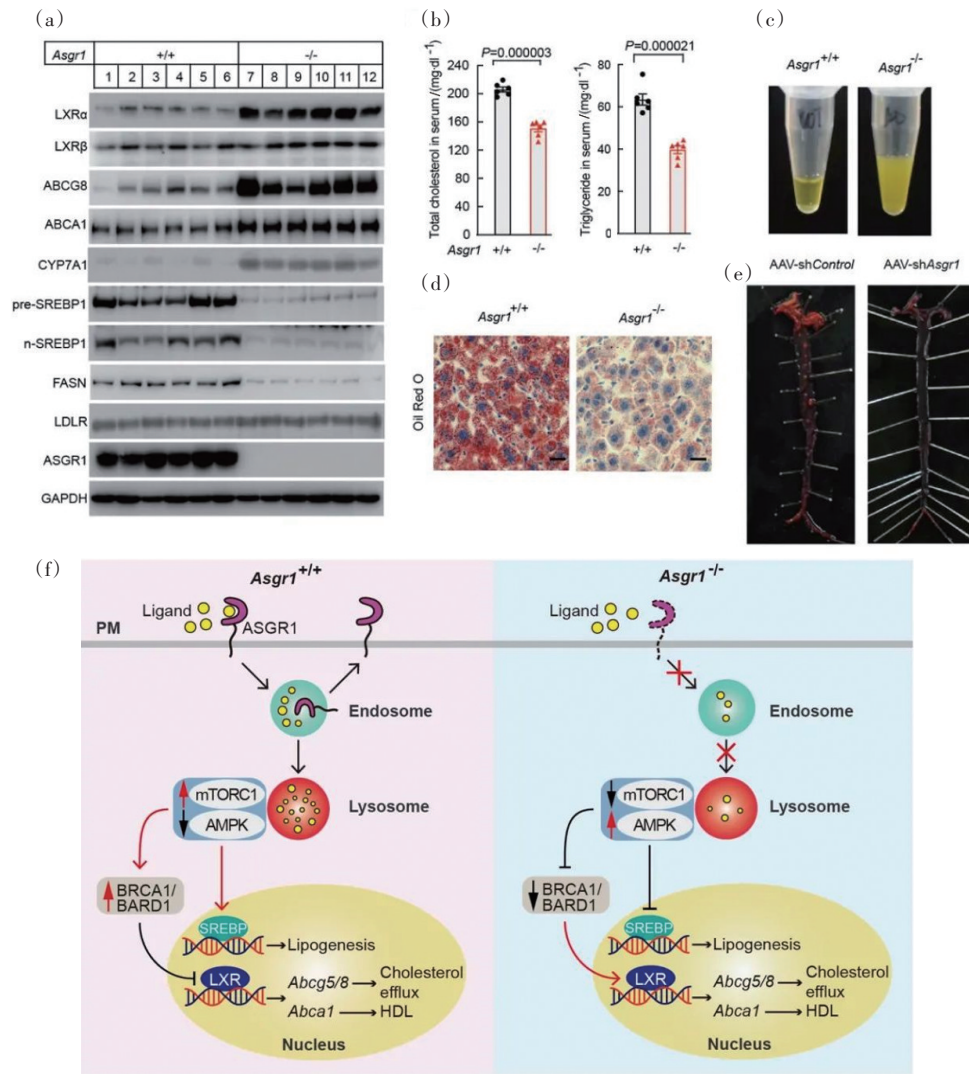


图6 抑制去唾液酸糖蛋白受体ASGR1促使胆固醇外排
(图片来源:《Nature》)

地质、水文演化和古气候变化的关键,一直是火星探测的主要任务之一。乌托邦平原是火星最大的撞击盆地,曾经可能是一个古海洋,预示着火星早期可能存在过宜居环境。2021年5月15日,中国“天问一号”携带的“祝融号”火星车在乌托邦平原南部成功着陆,开启了人类对该地区地下结构的首次原位雷达探测。

中国科学院地质与地球物理研究所陈凌团队报告了“天问一号”携带的“祝融号”火星车,在乌托邦平原南部边缘地区对火星地下结构进行的首次原位探地雷达调查结果(图7)^[53]。科研人员对前113个火星日、探测长度达1171 m的“祝融号”火星车低

频雷达数据展开了分析,首次获得了乌托邦平原南部浅表80 m之上的高精度结构分层图像和地层物性信息,发现该区域数米厚的火壤层之下存在2套向上变细的沉积层序。第一套层序位于地下约10~30 m,含有较多石块,其粒径随深度逐渐增大,其形成可能与距今约16亿年以来短时洪水、长期风化或重复陨石撞击作用有关;第二套层序位于地下约30~80 m,可能是距今35亿~32亿年前大型洪水事件沉积。虽然在雷达探测深度范围内没有发现存在液态水的直接证据,但通过温度估计和雷达图像的组合表明高氯酸盐盐水的存在是可能的,但可能只发生在大约80 m以下的深度^[54]。该研究揭

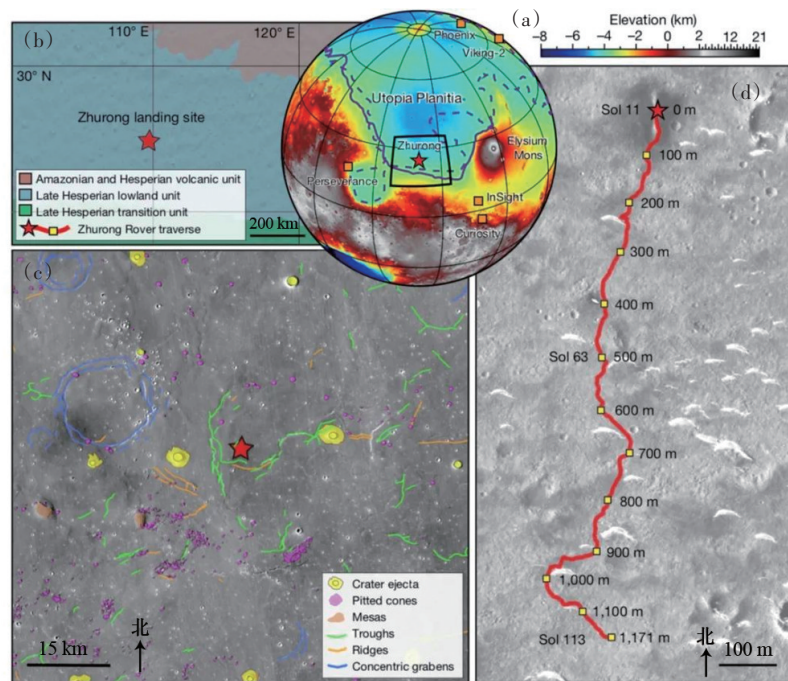


图7 “祝融号”火星车着陆点周边区域

(图片来源:《Nature》)

示了现今火星浅表的精细结构和物性特征,提供了火星长期存在水活动的观测证据,为深入认识火星地质演化与环境、气候变迁提供了重要依据。

1.8 发现志留纪化石库为解答有颌脊椎动物起源提供确凿证据

地球上约99.8%的脊椎动物都具有颌骨(上颌与下巴),颌的出现是“从鱼到人”的脊椎动物演化史上一次重要的飞跃。然而,分子钟推断的有颌类起源时间存在一段至少3000万年的巨大空白,化石实证的缺失使得有颌类的崛起长期笼罩在谜团之中。

中国科学院古脊椎动物与古人类研究所朱敏团队^[55-58]经过长年野外考察,在中国贵州、湖南、重庆等地的志留纪早期(距今约4.39亿~4.36亿年)的地层中发现了“重庆特异埋藏化石库”和“贵州石阡化石库”,填补了全球志留纪早期有颌类化石记录的空白,首次为有颌类的崛起与最早期辐射分化提供确切证据。研究团队应用高精度电子计算机断层扫描(CT)、性状大数据分析、流体动力学模拟等新技术方法,对最新发现的5种志留纪古鱼新属种——蠕纹沈氏棘鱼、新塑梵净山鱼、双列黔齿鱼、灵动土家鱼和奇迹秀山鱼展开研究,首次展示了最早

有颌类的身体构型、牙齿发育、偶鳍雏形等过去完全未知的信息。该研究更新了对早期有颌类解剖结构与演化关系的传统认知(图8^[57]),为解答“从鱼

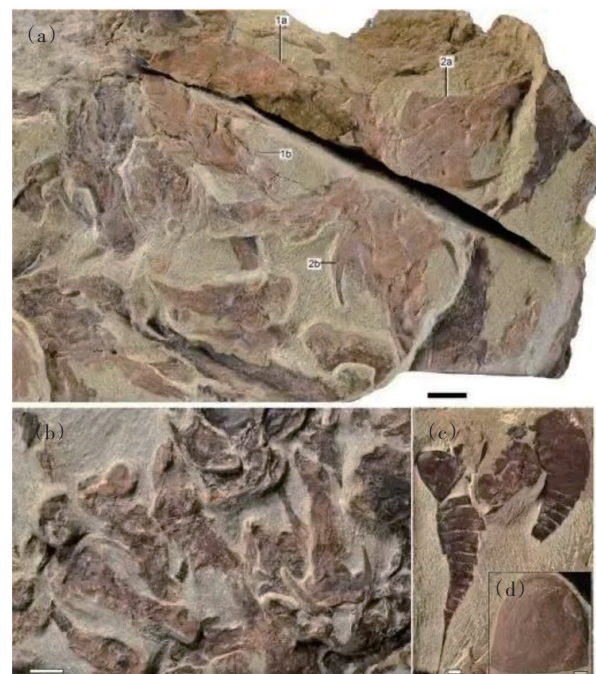


图8 “重庆特异埋藏化石库”化石照片

(图片来源:《Nature》)

到人”的起源提供了确凿证据,改写了有颌脊椎动物早期演化历史^[59-60]。

1.9 实现光催化剂光生电荷转移过程的全时空成像

太阳能光催化反应可以实现分解水产生氢气(绿氢)、还原二氧化碳产生太阳燃料,是国际科学前沿领域的大科学课题,也是实现碳中和的一个重要路径。光生电荷在光催化剂中的转移和运输,以及从内部到表面反应位点的转移是决定光催化效率的关键。由于这一过程跨越从飞秒到秒、从原子到微米的时空尺度,故揭开这一全过程的微观机制极具挑战性。

中国科学院大连化物所李灿、范峰滔团队^[61]通过集成3种先进的表征技术和理论模拟,包括时间分辨光发射显微镜(飞秒到纳秒)、瞬态表面光电电压光谱(纳秒到微秒)和表面光电电压显微镜(微秒到秒)在时空全域接力赛式地追踪了纳米单颗粒光催化剂中光生电荷在分离和转移演化的全过程,发现光催化剂中普遍存在的各向异性晶面和缺陷态直接影响光生电荷动力学行为;光生电子在亚皮秒时间尺度内经过准弹道传输机制完成晶面间超快传输,表现出量子特征,区别于经典电磁学理论预测的漂移扩散机制;而光生空穴在纳秒到微秒尺度演化,实现在不同晶面上的分离,揭示了光催化剂在微纳米尺度上时空各向异性的电荷转移机制,这是半个世纪以来光催化基础研究的新发现(图9)。该工作在单粒子尺度上高时空分辨追踪电荷转移和分布,建立了光催化过程的全新研究技术和理论方法,将极大促进对光催化领域基础科学的发展,为根本上解决光催化微观过程的瓶颈问题以及为发展高效光催化剂带来希望^[62]。

1.10 开创海水原位电解制氢新原理与新方法

海洋是地球上最大的氢矿,向大海要水是未来绿色零碳氢能发展的重点。然而,海水无淡化直接制氢面临析氯副反应、催化剂腐蚀等问题,是困扰学界近半个世纪的技术瓶颈。

深圳大学/四川大学谢和平团队从物理力学与电化学相结合的新路径,开创了相变迁移驱动的海水无淡化原位直接电解制氢全新原理与方法,原创形成了海水无能耗传质、电解质自激发驱动连续制

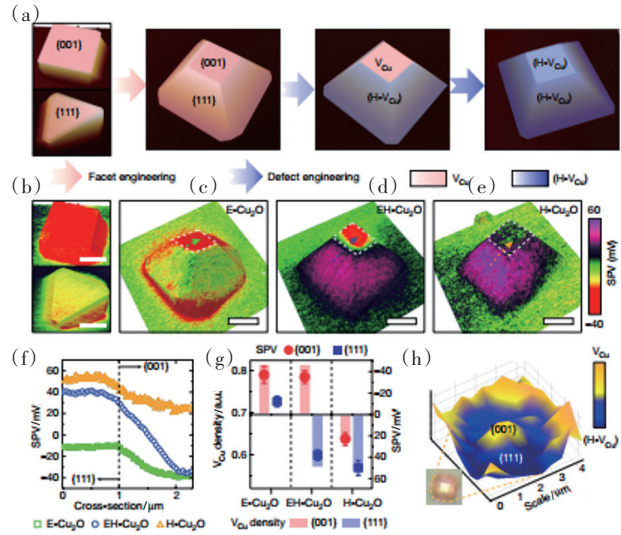


图9 单个光催化粒子从飞秒到秒光生电荷分离过程的全时空域原位动态“影像”拍摄 (图片来源:《Nature》)

氢、界面稳态自调节等关键原理技术(图10)^[63]。团队自主开发了全球首套400 L/h海水原位直接电解制氢技术装备,在深圳湾海水中原位制氢连续运行超3200 h,电解能耗约5 kW·h/Nm³ H₂(与工业碱性电解水能耗相当。Nm³指在0℃、1个标准大气压下的气体体积),彻底隔绝海水离子的同时实现了无淡化过程、无副反应、无额外能耗的规模化高效海水原位直接电解制氢技术突破,破解了该领域半世

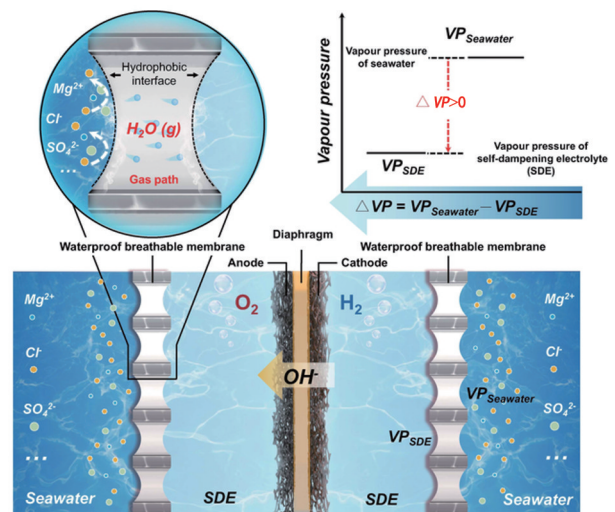


图10 相变迁移驱动的海水无淡化原位直接电解制氢原理 (图片来源:《Nature》)

纪难题。此外,研究团队探索了多元化水资源(如废水、盐湖等)直接原位制氢,为资源富集浓缩与能源生产提供多效利用新思路。该原理技术有望打造集“海上风电等可再生能源利用-海水氢能生产”为一体的中国原创“海洋绿氢”全球新兴战略产业^[64]。

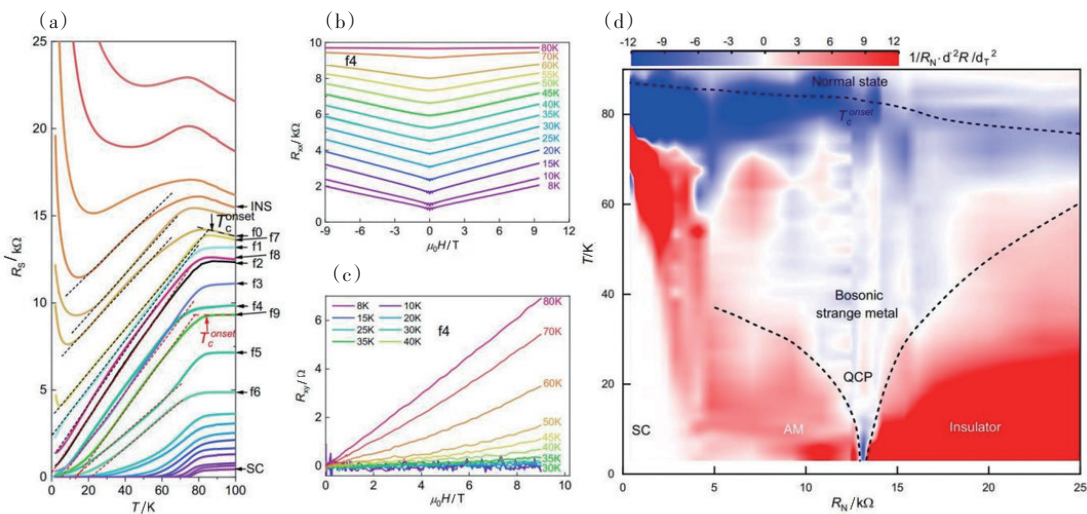
2 2022年中国重大技术进展(10项)

2.1 在高温超导体中诱导出奇异金属态

宇宙中,基本粒子分为费米子与玻色子2种。人类社会目前赖以生存的电子工业与器件发展几乎完全基于费米子体系,但该体系能耗高、损耗大,物理尺寸已近极限,面临性能持续提升的瓶颈,无法满足快速增长的信息传输需求。而以高温超导体为代表的玻色子器件,具有完美的零损耗能量传递特性,有望为电子信息工业带来革命性变化^[65]。

电子科技大学电子薄膜与集成器件国家重点实验室主任李言荣、熊杰团队与美国布朗大学 James M. Valles Jr、北京大学物理学院/量子材料科学中心谢心澄、王健,北京师范大学刘海文,四川大

学等合作者协同攻关,成功突破了费米子体系的限制,首次在玻色子体系中诱导出奇异金属态。研究团队通过高温超导钇钡铜氧(YBCO)薄膜中精准构筑纳米网孔阵列,实现了对玻色子相干性、耗散能等物性的跨尺度调控,在量子相变临界区发现了电阻随温度与磁场线性变化的奇异金属态(图11)。同时,低于超导临界温度时,体系霍尔电阻急剧减小为零,并且存在与库珀电子对相关的 $h/2e$ (h 为普朗克常数, e 为基本电荷)超导量子磁电阻振荡,证明体系的载流子是玻色子。研究团队进一步通过标度分析,发现玻色子奇异金属的电阻由温度与磁场简单的线性相加决定,证明了电阻在量子临界区与体系内在的能量尺度无关,满足标度不变的关系,揭示了玻色子在量子临界区存在奇异的动力学行为;建立了玻色子奇异金属的完备相图,阐释了玻色系统耗散量子相变的物理图像。该研究为理解凝聚态物理中奇异金属的物理规律、揭示奇异金属的普适性、完善量子相变理论奠定了科学基础,对揭示耗散效应对玻色子量子相干的定量影响、推动未来低能耗超导量子计算以及极高灵敏量子探测技术的发展具有重要的理论和实际意义^[65-66]。



(a) 输运特性曲线;(b) 线性磁电阻曲线;(c) 霍尔电阻 R_H 随温度的变化曲线;(d) 玻色子奇异金属相图

图11 YBCO纳米网孔薄膜中量子金属-绝缘体量子相变点附近的奇异金属态

(图片来源:《Nature》)

2.2 实现超快激光三维极端制造重大突破

超快激光具有超快超强的特点,将超快激光聚焦到玻璃内部时,会在焦点附近产生超高电场、超高温、超高压等现象。基于这一原理,在局部高温高压下,超快激光焦点处微米尺寸范围内的玻璃会出现纳米相分离,通过调节激光参数,改变焦点范围内的温度和压力,就能够对纳米相的组成元素进行调节。而通过控制激光辐照时间,则能让纳米相与周围融化的玻璃基质之间进行离子交换,从而进一步调控纳米相的组成元素^[67]。

浙江大学邱建荣团队、之江实验室谭德志团队联合上海理工大学顾敏团队、南方科技大学刘召军团队、丹麦奥尔堡大学岳远征团队首次发现了飞秒激光诱导复杂体系微纳结构新现象,揭示了空间选择性介观尺度分相和离子交换的规律,开拓了飞秒激光三维极端制造新技术,在无色透明介质内部实现了带隙可控发光连续可调的任意三维半导体纳米晶结构。利用这种3D纳米结构,研究团队成功演示了在超大容量超长寿命信息存储、高稳定 Micro-LED 阵列和动态立体彩色全息显示等前沿领域的重要应用(图12)。

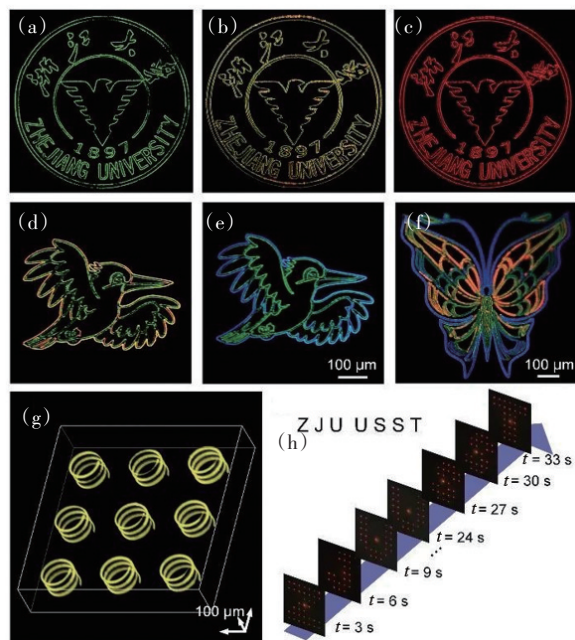


图12 飞秒激光三维直写玻璃中钙钛矿纳米晶的彩色发光图案和全息显示
(图片来源:《Science》)

2.3 实现三原子分子的量子相干合成

利用高度可控的超冷分子模拟复杂的难于计算的化学反应,可以对复杂系统进行精确的全方位研究,因而在超冷化学和新型材料设计中具有广泛的应用前景。但分子内部振转能级非常复杂,导致通过直接冷却方法制备超冷分子极其困难。随着冷原子技术的发展,从超冷原子出发相干合成分子为制备超冷分子提供了一条全新的途径^[69-70]。

中国科学技术大学潘建伟、赵博团队与中国科学院化学所白春礼小组^[71]合作,在超冷原子双原子分子混合气中首次实现三原子分子的相干合成。实验团队从接近绝对零度的超冷原子混合气出发,制备了处于单一超精细态的钠钾基态分子。在钾原子和钠钾分子的 Feshbach 共振附近,通过射频场将原子分子的散射态和三原子分子的束缚态耦合在一起,成功地在钠钾分子的射频损失谱上观测到了射频合成三原子分子的信号,并测量了 Feshbach 共振附近三原子分子的束缚能(图13)。这一工作为量子模拟和超冷化学的研究开辟了一条新的道路。

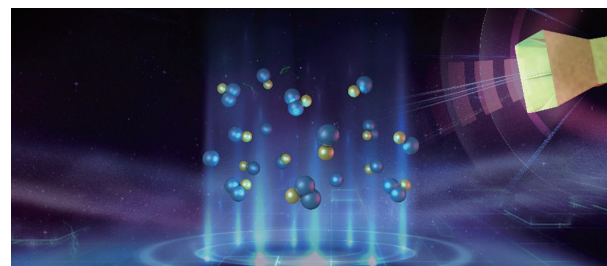


图13 从超冷原子和双原子分子混合气中利用射频场合成三原子分子的示意
(图片来源:中国科学技术大学网站)

在此基础上,潘建伟、赵博团队^[72]在量子简并的钠钾分子-钾原子混合气中,利用磁缔合技术绝热地制备了高相空间密度的超冷三原子分子系综,向基于超冷分子的超冷量子化学和量子模拟研究迈出了重要一步。

2.4 建立蛋白质从头设计新方法

蛋白质的结构与功能由氨基酸序列所决定。目前,能够形成稳定三维结构的蛋白质几乎全部是天然蛋白质,其氨基酸序列是长期自然进化形成的。在天然蛋白结构功能不能满足工业或医疗应

用需求时,想要得到特定的功能蛋白,就需要进行蛋白质设计。近年来,国际上蛋白质从头设计的代表性工作主要采用天然结构片段作为构建模块来拼接产生人工结构。然而,这种方法存在设计结果单一、对主链结构细节过于敏感等不足,限制了设计主链结构的多样性和可变性^[73]。

中国科学技术大学刘海燕、陈泉团队^[74]采用数据驱动策略,开辟出一条全新的蛋白质从头设计路线(图 14),在蛋白质设计这一前沿科技领域实现了关键核心技术的原始创新,为工业酶、生物材料、

生物医药蛋白等功能蛋白的设计奠定了坚实基础。团队首先建立了给定主链结构设计氨基酸序列的模型,进而发展了能在氨基酸序列待定时从头设计全新主链结构的模型。理论计算和实验证明,用新方法设计蛋白质,能够突破只能用天然片段拼接产生新主链结构的限制,显著扩展从头设计蛋白的结构多样性,设计出不同于已知天然蛋白的新颖结构。该团队发布了 9 种从头设计的蛋白质分子的高分辨率晶体结构,其中 5 种蛋白质具有不同于已知天然蛋白的新颖结构。

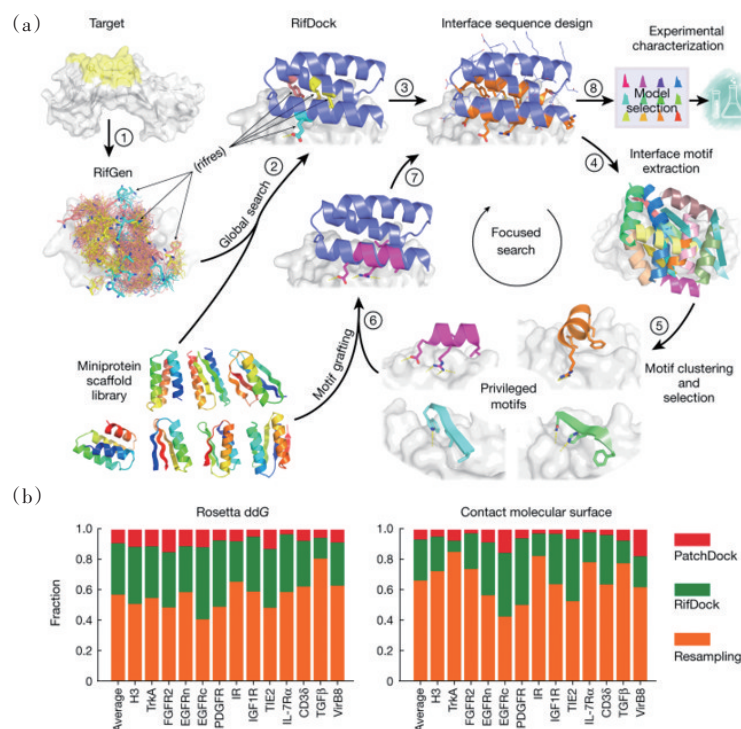
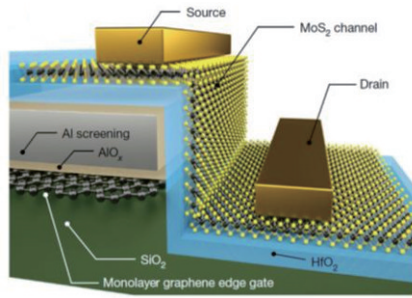


图 14 蛋白质从头设计路线示意
(图片来源:《Nature》)

2.5 制备出亚 1 nm 栅极长度的晶体管

石墨烯和二硫化钼(MoS₂)等二维材料的发现使人们认识到材料即使在数个原子层的尺度下也可以具有良好的电学性质。近 20 年来,科学家试图将这些二维材料运用在晶体管中,以使得晶体管具有更小的体积,从而实现具有更高集成度的电子芯片。但是,尽管科学家尝试多种手段,目前晶体管的有效栅极长度也难以下降到 1 nm 以下^[75]。

为进一步突破 1 nm 以下栅长晶体管的瓶颈,清华大学集成电路学院任天令团队^[76]巧妙利用石墨烯薄膜作为栅极,通过石墨烯侧向电场来控制垂直的 MoS₂沟道的开关,实现等效的物理栅长为 0.34 nm,这是国际上首次制备出亚 1 nm 栅极长度的晶体管,具有良好的电学性能(图 15)。该研究推动了摩尔定律进一步发展到亚 1 nm 级别,同时为二维薄膜在未来集成电路的应用提供了参考依据。



Source(源极)、Drain(漏极)为输出和输入电极; Monolayer graphene edge gate(栅极)为单层石墨烯边缘栅,即控制电极

图15 垂直MoS₂晶体管结构示意图
(图片来源:《Nature》)

2.6 发现并编辑 *KRN2* 基因可同时提高水稻玉米产量

玉米、水稻和小麦这3大农作物,为全球人类提供了50%以上的能量摄入。人类先祖从约1万

年前就开始了对于野生植物的驯化。这些作物驯化发生在地球的不同地区,祖先各不相同,形态和生长习性各异。它们在长期的改良和选择过程中,是否遵循了共同的遗传规律,这对作物的遗传改良具有重要的实践意义^[77]。

中国农业大学和华中农业大学联合研究团队^[78]历经18年,从基因和基因组2个层面进行系统研究,首次发现了玉米和水稻中都具有的一个关键基因——*KRN2*,通过对这一基因的编辑,可以调控玉米穗行数,从而将玉米的产量提高10%;同时研究发现,这一基因在水稻的基因组里也同样存在,通多对其基因编辑可使水稻的产量增加8%(图16)。研究还解析了玉米和水稻趋同选择的遗传规律,为作物驯化的机制解析和未来作物育种奠定了重要理论基础。

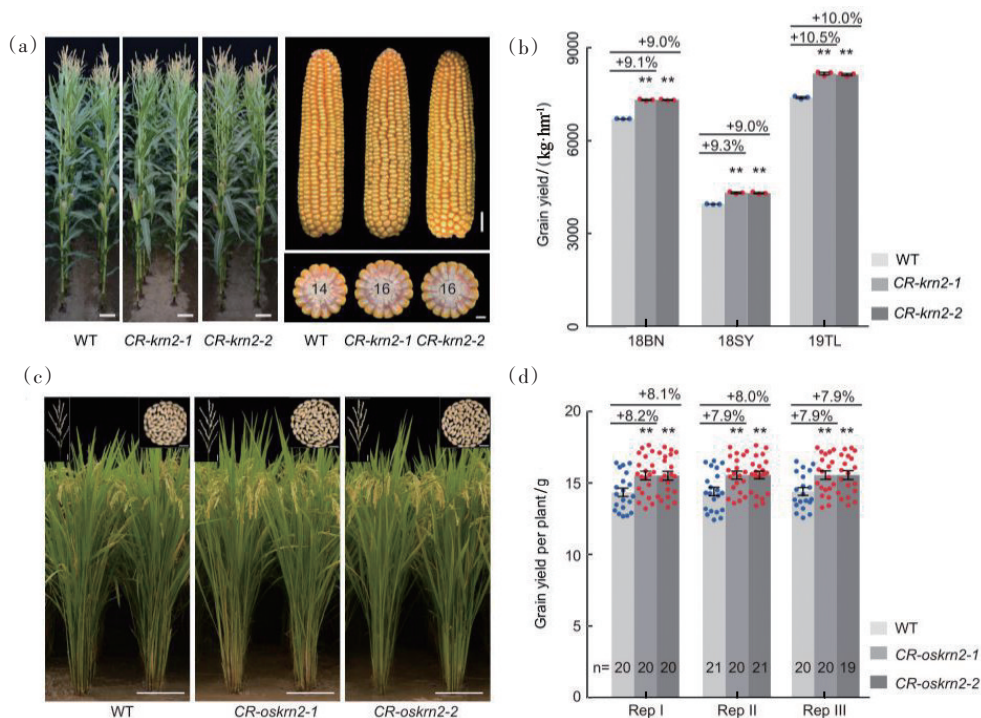


图16 基因编辑*KRN2*可以同时提高玉米和水稻的产量
(图片来源:《Science》)

联合研究团队未来将聚焦*KRN2*基因,依托湖北洪山实验室组建玉米基因组、育种基因设计、分组合育等创新团队,打通从基础研究到标记基因的开发,以及品种选育、产业推广运用全产业链。

2.7 提出全新诱导人多潜能干细胞制备技术

多潜能干细胞具有无限增殖的特性和分化成生物体所有功能细胞类型的能力,这些神奇的特质使其在细胞治疗、药物筛选和疾病模型等领域具有

广泛的应用价值,是再生医学领域最为关键的“种子细胞”^[79]。

北京大学邓宏魁团队^[80]提出了一种全新的诱导人多潜能干细胞制备技术——化学重编程。研究者使用化学小分子诱导人成体细胞转变为多潜能干细胞,相比于传统手段,可以实现细胞重编程过程的高度可控,并且规避了传统转基因操作引发的安全问题,这是国际上首次报道使用化学小分子诱导人成体细胞转变为多潜能干细胞这一突破性研究成果(图17)。研究实现了完全利用化学小分

子诱导人成体细胞转变为多潜能干细胞(人CiPS细胞),开辟了人多潜能干细胞制备的全新途径,是继“体细胞核移植”和“转录因子过表达”之后,首次由中国自主研发的新一代人多潜能干细胞制备技术,为国内干细胞和再生医学的发展解决了底层技术上的“瓶颈”问题。这一技术的建立不仅在多潜能干细胞临床应用领域具有巨大的意义和价值,同时为细胞命运调控及再生生物学理论研究方面提供了全新的视角和平台,可为未来再生医学治疗重大疾病带来新的可能性。

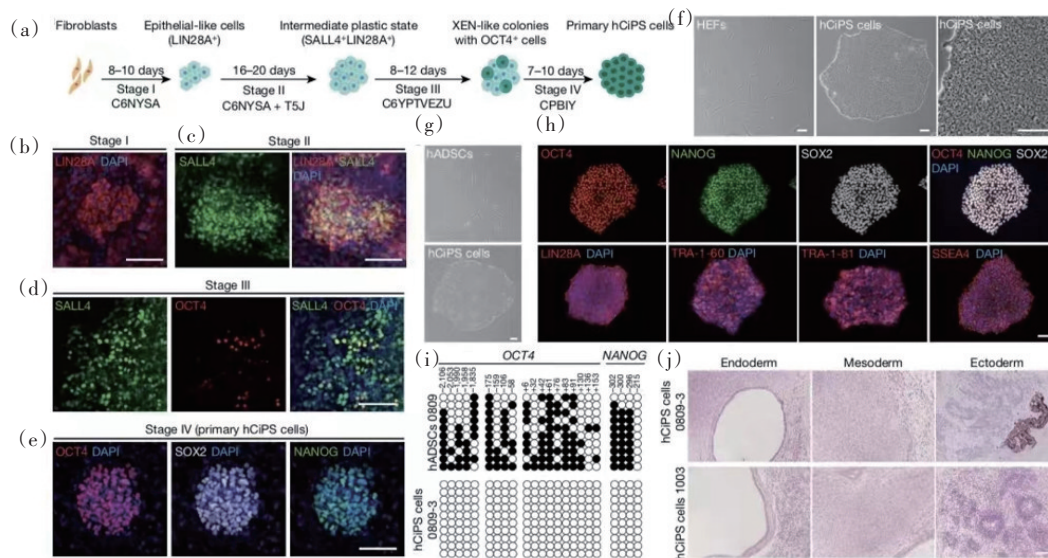


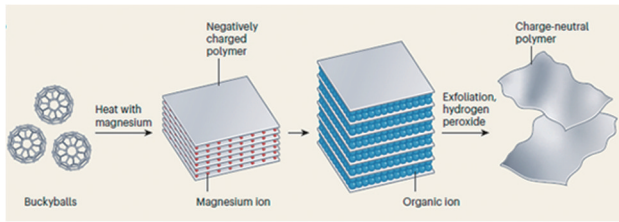
图17 小分子诱导产生人类化学诱导多能干细胞
(图片来源:《Nature》)

2.8 创制出新型碳同素异形体单晶

碳是元素周期表中最多样化的元素之一,能以多种杂化方式成键获得独特的 π 电子共轭体系从而展现出优异的力、热、光、电等性能。碳材料的性能与其拓扑结构密切相关,因此研究新的二维碳同素异形体,特别是具有带隙的新型结构具有重要意义。制备新型碳材料一直是物质科学领域的前沿课题,但由于缺乏有效、可靠的合成方法,使得新型碳材料的发现具有极大的挑战^[81]。

中国科学院化学研究所郑健团队^[82]开发了一种制备新型碳材料的合成策略,成功制备了单层二维聚合 C_{60} 单晶,并获得了清晰的价键结构。通过

调节 M_g 和 C_{60} 的比例,在常压条件下制得了2种紧密排列的准六方相和准四方相的 M_g 插层聚合物单晶。通过有机阳离子切片策略,使用四丁基水杨酸铵作为切割试剂,从准六方相结构中剥离得到单层 C_{60} 聚合物(图18)。单晶XRD和扫描隧道电子显微镜表征结果表明, C_{60} 之间通过碳-碳桥连单键和[2+2]环加成的四元环桥连键,在平面内连接形成了一种全新的二维拓扑超结构。单层聚合 C_{60} 具有较高的结晶度和良好的热力学稳定性,并具有适度的禁带宽度,这种利用零维团簇代替碳原子构筑二维拓扑结构的方法,为新型碳材料的探索提供了新的思路。

图 18 聚合 C₆₀ 的合成路线

(图片来源:国家自然科学基金委员会网站)

2.9 制备出具备超高导电率的可溶液加工 n 型导电聚合物

导电聚合物因具有较高导电性、能够进行溶液相处理等优点受到广泛关注,目前人们成功地发展了多种多样的高性能导电聚合物材料,并且能够用于多种有机电子器件。但是大多数导电聚合物材料是空穴传输型(p型),n型导电聚合物的发展明

显滞后,由于较低的掺杂效率和环境不稳定性缺点,能够呈现金属态的n型导电聚合物非常罕见^[83]。

华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室黄飞团队^[84]联合南方科技大学、北京大学研究团队,创新地提出了一种新的n型导电聚合物合成策略,利用醌类氧化剂可逆的氧化还原特性,将氧化聚合和还原掺杂结合,大幅提高了有机半导体的n型掺杂效率,实现了具备超高电导率及优异稳定性的n型导电聚合物的制备(图19)。合成的聚(苯并二咪喃二酮)(PBFDO)具有超过2000 S/cm的电导率及良好的空气稳定性,在有机电子器件中展现出广泛的应用前景。

以发光材料与器件国家重点实验室知识产权为背景的东莞伏安光电公司已布局开发PBFDO及相关产品,推动实际应用。

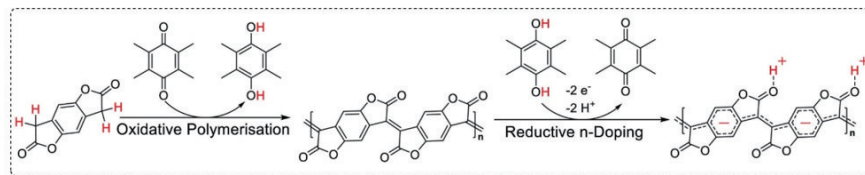


图 19 氧化聚合和原位 n 型掺杂的反应机制示意

(图片来源:《Nature》)

2.10 提出一种集成化的元成像芯片架构

光学成像拓展了人类的认知边界,推动科学的进步;也应用于人们生活的方方面面。完美光学成像是人类感知世界的终极目标之一,然而受到不可避免的镜面加工误差,系统设计缺陷与环境扰动的限制,使得实际成像分辨率与信噪比往往显著低于完美成像系统^[85]。

清华大学戴琼海团队^[86]提出了一种集成化的元成像芯片架构,为解决这百年难题开辟了一条新路径。区别于构建完美透镜,研究团队另辟蹊径,研制了一种超级传感器,记录成像过程而非图像本身,通过实现对非相干复杂光场的超精细感知与融合,即使经过不完美的光学透镜与复杂的成像环境,依然能够实现完美的三维光学成像(图20)。这一技术解决了长期以来的光学像差瓶颈,有望成为下一代通用像感器架构,而无需改变现有的光学成像系统,将应用于天文观测、生物成像、医疗诊

断、移动终端、工业检测、安防监控等领域,带来颠覆性变化。

3 2022年中国重大工程进展(10项)

3.1 全球首艘10万吨级智慧渔业大型养殖工船下水运营

2022年1月25日,由中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所牵头研制、国信中船公司投资建造的全球首艘10万吨级智慧渔业大型养殖工船“国信1号”在中国船舶集团青岛北海船厂出坞下水^[87],5月20日交付运营(图21),标志着中国深远海大型养殖工船产业实现了“由0到1”的进阶发展,“国信1号”首创的“船载舱养”模式,使中国海洋渔业养殖从近海走向深远海^[88]。

“国信1号”总长249.9 m、型宽45 m、型深21.5 m,载重量10万t,排水量1 t,全船共15个养殖舱,

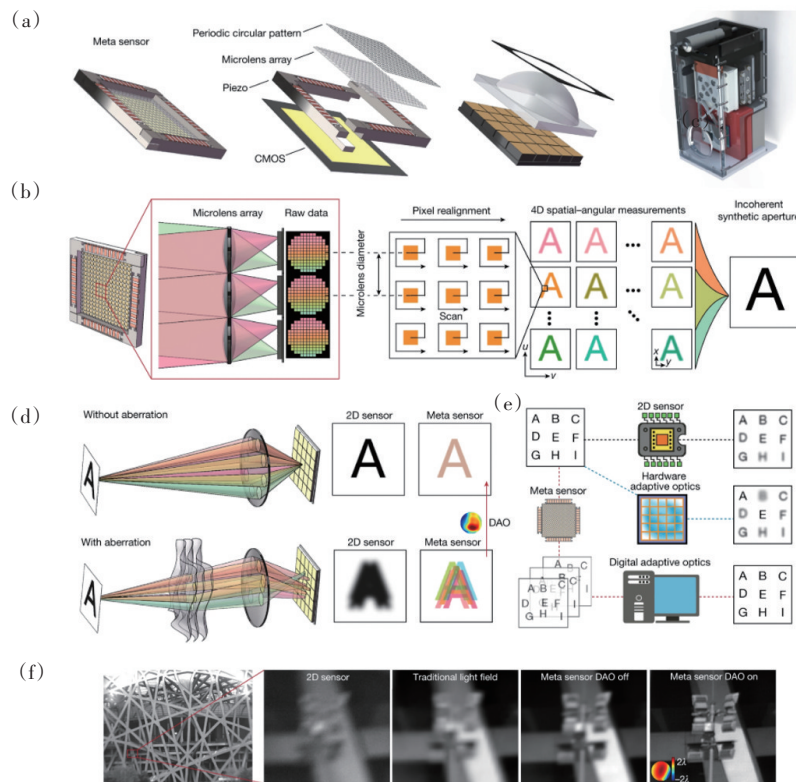


图20 元成像芯片成像原理与大范围像差矫正效果

(图片来源:《Nature》)



图21 “国信1号”交付运营

(图片来源:央视新闻)

养殖水体达8万 m^3 ,用于开展大黄鱼等高端经济鱼类的养殖生产。“国信1号”养殖舱内水体声学指标达到甚至超过静音级科考船水平,全船有2108个测点信息,对15个养殖舱内的水、氧、光、饲、鱼进行集中控制与实时监测。“国信1号”突破了船舱养、水体交换、减摇制荡、减震降噪、清污防腐、智能集控6大关键技术,通过有效的人工干预实现了舱内水体与外界自然海水不间断强制交换,可控的封

闭养殖环境更容易隔离病源并提升养殖成活率,养殖密度是传统网箱的4~6倍,养殖周期可缩短1/4以上^[88]。

作为全球首艘10万吨级养殖工船,“国信1号”在研发、建造和产业运营等诸多方面开创国际先例,形成了30多项自主知识产权,为中国乃至世界深远海养殖打造“中国样本”,率先探索海洋渔业养殖从近海走向深远海,从农业传统经营模式转向大规模现代化工业生产的方式和路径^[88]。

3.2 世界最大单机LHD1.6 MW潮流能发电机组启动运行

2022年2月24日,世界最大单机LHD 1.6 MW潮流能发电机组“奋进号”在舟山岱山秀山岛海域启动下海(图22)^[89],并于4月29日正式并入国家电网,通过舟山五端柔直工程实现潮流能全额消纳^[90]。

位于浙江舟山秀山岛的LHD林东模块化大型海洋潮流能发电站,是世界上首座海洋潮流能发电



图22 “奋进号”平稳运转
(图片来源:人民图片网)

站,是目前世界上唯一连续不间断运行超过1周年的项目。“奋进号”机组是潮流能第四代单机兆瓦级机组,机组总重325 t,额定功率1.6 MW,设计年发电量200万kW·h,预计可减少CO₂碳排放1994 t^[89]。

2016年7月27日,LHD项目首期1 MW机组顺利下海发电,同年8月26日并入国家电网,实现中国海洋潮流能开发与利用进程中大功率发电、稳定发电、并入电网的3大跨越。LHD项目连续发电并网运行时间保持全球第1,累计向国家电网送电位居世界第3。目前,世界上掌握海洋能发电并网技术的国家只有英国、美国、法国和中国,但在持续稳定发电并网时间上,LHD项目已经领跑世界^[90]。

3.3 鲲龙 AG600 全状态新构型灭火机首飞成功

2022年5月31日,由中国航空工业集团公司牵头自主研发的大型灭火/水上救援水陆两栖飞机鲲龙 AG600 全状态新构型灭火机在广东珠海首飞成功(图23),鲲龙 AG600 项目全面进入加速发展的新阶段,灭火功能型号研制取得重大突破^[91]。

鲲龙 AG600 飞机是为满足中国应急救援体系和国家自然灾害防治体系建设迫切需要研制的重大航空装备,是中国首次按照民用适航标准研制的大型特种飞机,是与运-20大型运输机、C919大型客机并称的三型国产大飞机之一。

此次首飞的鲲龙 AG600 全状态新构型灭火机最大起飞重量60 t,最大载水量12 t,填补了国产大型航空灭火飞机的空白。该型机设置增压舱,采用电传飞控和综合航电,配置全任务系统,相比技术验证机具有更高安全性、更大投水量、更远航程、更



图23 鲲龙 AG600 全状态新构型灭火机
(图片来源:《科技日报》)

优秀的平台系列化发展能力。鲲龙 AG600 全状态新构型灭火机立足于国内产业链、供应链、创新链,实现了包括发动机、关键机载系统在内的100%国内自主配套,一大批新技术、新材料、新工艺得到应用,有效带动相关产业快速发展和质量提升^[92]。

在工程化验证阶段,鲲龙 AG600 技术验证机相继实现陆上、水上、海上首飞,关键性能试验试飞和汲投水灭火功能验证试飞。在实用化应用阶段,主要是开展全状态新构型灭火机、救援机研制和适航取证。接下来将建设以鲲龙 AG600 为龙头的国产航空应急救援装备体系,加快推动型号研制和市场化应用。

3.4 中国第三艘航空母舰成功下水

2022年6月17日,中国第三艘航空母舰在中国船舶集团有限公司江南造船厂下水(图24),该艘航空母舰命名为“中国人民解放军海军福建舰”,即福建舰。福建舰航母的正式下水,标志着中国航空母舰进入新发展阶段,中国正式开始三航母时代,将对航母的操作提出更高的要求 and 更大的实际操作空间^[93]。

福建舰是中国完全自主设计建造的首艘弹射型航空母舰,采用平直通长飞行甲板,配置电磁弹射和阻拦装置。从“双航母”到“三舰客”,福建舰下水,是中国海军发展史上的重要里程碑。福建舰满载排水量8万余t(舷号为“18”),超过山东舰(舷号为“17”);跟山东舰采用滑跃式起飞相比,“福建舰”采用电磁弹射起飞,也实现了新跨越。相较于传统的滑跃式起飞方式,电磁弹射可以让战斗机满载燃



图24 福建舰下水
(图片来源:澎湃新闻)

料和弹药起飞,还可以满足大到运输机、预警机,小到无人机等各类机型在航母上的起飞条件。由于电磁弹射的研发难度高,此前只有美国掌握了这项技术,福建舰的下水掀开了中国海军航母发展和远洋作战的新篇章^[93]。

3.5 世界首条环沙漠铁路全线贯通

2022年6月17日,和田至若羌的铁路(简称“和若铁路”)正式建成通车(图25为和若铁路车尔臣河特大桥)。和若铁路的开通,标志着世界首条环沙漠铁路(环塔克拉玛干沙漠铁路,以下简称“环沙漠铁路”)全线贯通^[94]。



图25 和若铁路车尔臣河特大桥
(图片来源:新华社)

和若铁路位于世界第二大流动性沙漠——塔克拉玛干沙漠南缘,西起新疆维吾尔自治区和田市,东至巴州若羌县,途经洛浦、策勒等市县,于2018年12月开工建设,2022年3月12日通过动态验收。该铁路全长825 km,设计时速120 km/h,为

国家I级单线铁路,预留电气化条件^[94]。环沙漠铁路由和若铁路与已建成通车的南疆铁路(库尔勒—喀什—和田段)、格库铁路(若羌—库尔勒段)组成,全长2712 km,途径新疆和田地区、巴音郭楞蒙古自治州、阿克苏地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州和喀什地区等5个地州和31个市县,辐射人口1644万。

环沙漠铁路全线贯通完善了新疆铁路网结构,有助于提升南疆交通区位优势条件,通过开辟运输新通道进而对沿线地区的产业发展、人口流动、乡村振兴、城乡融合及丝绸之路经济带核心区建设等方面产生巨大推动作用。

3.6 中国运载能力最大固体运载火箭“力箭一号”首飞成功

2022年7月27日,由中国科学院力学研究所抓总研制、中国迄今运载能力最大的固体运载火箭“力箭一号”在酒泉卫星发射中心成功发射(图26),以“一箭六星”方式将6颗卫星送入预定轨道。“力箭一号”运载火箭首次飞行任务取得圆满成功,作为中小型卫星发射优先选择,丰富了中国固体运载火箭发射能力谱系^[95]。



图26 “力箭一号”发射升空
(图片来源:中国科学院网站)

“力箭一号”是四级固体运载火箭,起飞重量135 t,起飞推力200 t,总长30 m,芯级直径2.65 m,首飞状态整流罩直径2.65 m,500 km太阳同步轨道运载能力1500 kg。“力箭一号”具有运载能力大、入轨精度高、固有可靠性高、响应速度快、发射效率高、保障要求低、发射成本低等突出优点,适用于中/小卫星载荷的中/低轨低成本快速组网发射。

“力箭一号”从2019年开始研制,迄今为止科研团队突破了6项重大关键技术和13项国内首次使用的技术^[96]。本次发射任务搭载的6颗卫星分别是中国科学院微小卫星创新研究院抓总研制的空间新技术试验卫星、轨道大气密度探测试验卫星、低轨道量子密钥分发试验卫星、电磁组装试验双星,以及上海航天空间技术有限公司研制的南粤科学星。空间新技术试验卫星是可通用、可扩展、快速响应的空间新技术试验卫星平台,将开展新型空间科学载荷的实验^[95]。

“力箭一号”运载火箭由中国科学院“十四五”重大项目支持,其面向空间科学和空间技术发展需求,对于推动中国运载技术和研制模式的变革和创新、推动空间科学发展具有重要意义^[95]。

3.7 中国初步建立综合性太阳观测网

2022年10月9日,中国综合性太阳探测卫星“夸父一号”,在酒泉卫星发射中心搭乘长征二号丁型运载火箭发射升空,卫星顺利进入预定轨道,发射任务取得圆满成功^[97]。

“夸父一号”全称先进天基太阳天文台(ASO-S),是中国科学院空间科学先导专项继“悟空”“墨子号”“慧眼”“实践十号”“太极一号”“怀柔一号”之后,研制发射的又一颗空间科学卫星,实现了中国天基太阳探测卫星的跨越式突破(图27)。“夸父一号”作为中国综合性太阳探测专用卫星,将实现3个首次:国际上首次以“一磁两暴”(“一磁”即太阳磁场,“两暴”即太阳上2类最剧烈的爆发现象——



图27 “夸父一号”效果图
(图片来源:中国科学院)

耀斑和日冕物质抛射)作为科学目标并配置相应的载荷组合;国际上首次在一颗卫星平台上对全日面矢量磁场、太阳耀斑非热辐射成像、日冕物质抛射的日面形成以及日冕传播同时进行观测;国际上首次在莱曼阿尔法波段实现全日面和日冕同时观测。

2022年12月13日,“夸父一号”首批科学图像正式对外发布:“夸父一号”在轨2个月期间,按照既定计划,开展大量对太阳的在轨测试和观测,其中全日面矢量磁像仪实现中国首次在空间开展太阳磁场观测,已获得的太阳局部纵向磁图的质量达到国际先进水平,为聚焦卫星“一磁两暴”科学目标,实现高时间分辨、高精度的太阳磁场观测奠定了良好的基础^[98]。

3.8 中国国家太空实验室正式成型

2022年10月31日,搭载空间站梦天实验舱的长征五号B遥四运载火箭,在文昌航天发射场点火发射升空,成功把梦天实验舱送入太空预定轨道,该实验舱在飞行了大约13 h后,与天宫空间站的天和核心舱对接,形成新的组合体。11月3日,梦天实验舱顺利完成转位,中国空间站“T”字基本构型在轨组装完成。至此,中国第一座由3个舱段组成的空间站基本型建造完毕,国家太空实验室的正式建成(图28)^[99]。



图28 建成空间站,建设国家太空实验室
(图片来源:中国科学院空间应用工程与技术中心网站)

2022年5月10日,搭载天舟四号货运飞船的长征七号遥五运载火箭成功发射,这是中国空间站建设从关键技术验证阶段转入在轨建造阶段的首次发射任务,揭开中国空间站在轨建造序幕。随后,中国空间站在轨建造阶段的首次发射任务——

神舟十四号载人飞行任务取得圆满成功。陈冬、刘洋、蔡旭哲3名航天员进驻天和核心舱,开启了为期6个月的在轨驻留。2022年7月、10月,问天实验舱、梦天实验舱陆续发射,中国空间站“T”字基本构型在轨组装完成。梦天实验舱发射成功的9天后,天舟五号货运飞船搭载长征七号遥六运载火箭发射,与在轨运行的空间站组合体成功进行自主快速交会对接,时间仅用2 h,创造了世界航天史交会对接历时最短的新纪录。2022年11月29日,费俊龙、邓清明、张陆3名航天员搭乘神舟十五号载人飞船并顺利进驻中国空间站,神舟十四号、十五号2个航天员乘组首次实现“太空会师”,创造中国航天的历史性时刻,自此中国空间站关键技术验证和建造阶段12次发射任务全部完成^[99]。

2022年,中国载人航天事业取得了进一步突破。神舟十四号、十五号载人飞船成功发射,问天、梦天实验舱等顺利对接,中国空间站建设取得历史性突破。中国空间站不仅支持开展更大规模的空间研究实验和新技术试验,而且面向所有联合国成员国征集有意搭载到中国空间站的合作实验项目。截至2022年12月31日,已有17个国家、23个实体的9个项目成为中国空间站科学实验首批入选项目。未来10年还将利用空间站舱内安排的科学实验柜和舱外大型载荷设施,开展更大规模的空间研究实验和新技术试验^[99]。

3.9 全球单机容量最大16 MW海上风电机组下线

2022年11月23日,由三峡集团与金风科技联合研制的16 MW海上风电机组在福建三峡海上风电国际产业园下线(图29)。该机组是目前全球范围内单机容量最大、叶轮直径最大、单位兆瓦重量最轻的风电机组,标志着中国海上风电大容量机组在高端装备制造能力上实现重要突破,达到国际领先水平^[100]。

此次下线的单机容量16 MW海上风电机组,叶轮直径252 m,叶轮扫风面积约5万m²,约相当于7个标准足球场大;轮毂高度达146 m,约相当于一座50层大楼的高度。在额定工况下,单台机组每转动一圈可发电34.2 kW·h。根据多年平均发电量设计值,单台机组每年可输出超过6600万kW·h的



图29 16 MW海上风电机组
(图片来源:新华网)

清洁电能,能够满足3.6万户三口之家一年的生活用电,可节约标煤约2.2万t,减排CO₂约5.4万t。16 MW机组在大型主轴轴承、超长轻量化叶片等关键核心部件的研发制造方面取得了重要的技术突破。机组运行状态监测的数字化水平高,能够针对台风等恶劣天气智能调整运行模式,确保风机安全和高效发电^[100]。

16 MW机组的下线,标志着中国风电装备产业实现了从“跟跑”到“并跑”再到“领跑”的历史性跨越,创造了全球海上风电装备发展的最新标杆。

3.10 中国首台F级50 MW重型燃气轮机开启工程应用

2022年11月25日,由东方电气集团东方汽轮机有限公司自主研发的国内首台完全自主知识产权的F级50 MW重型燃气轮机在正式发运交付(图30),这台历时13年自主研发的国内首台F级50 MW重型燃机正式走向工程应用。标志着中国在重型燃气轮机领域完成了从“0”到“1”的突破^[101]。



图30 F级50 MW重型燃机
(图片来源:中国新闻网)

重型燃气轮机是发电和驱动领域的核心设备,也是大型装备的“心脏”,具备极高的战略地位和巨大的市场前景。为解决该领域技术的短板问题,从2009年起,中国燃气轮机多家重点企业和产业链上中下游近百家单位以及科研院校联合进行技术攻关。F级50 MW重型燃气轮机研制项目联合高校、科研院所、产业链上中下游近300家企业共同致力于打造安全可控、自主可靠的燃机产业链,实现主机国产化率100%^[10]。

F级50 MW重型燃气轮机的零部件多达数万个,从设计技术到材料机械,再到试验设施,任何一项都是十分庞大复杂的系统工程。历经10多年的探索,该项技术目前已建立起完整的设计、制造、试验体系,打通了自主燃气轮机从攻关到走向应用的“最后一公里”^[10]。

致谢 本次遴选中,“2022年重大科学进展”候选条目从科学技术部高技术研究发展中心主办、《科技导报》《中国基础科学》《中国科学院院刊》《中国科学基金》《科学通报》协办的2022年度“中国科学十大进展”候选条目中产生,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): 5-14.
- [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年度中国重大科学、技术和工程进展[J]. 科技导报, 2011, 29(3): 15-25.
- [10] 朱宇, 苏青, 陈广仁, 等. 2011年度中国重大科学、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年度中国重大科学、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年度中国重大科学、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): 14-27.
- [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] 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.
- [17] 陈广仁, 刘志远, 田恬, 等. 2018年中国重大科学、技术和工程进展[J]. 科技导报, 2019, 37(3): 6-26.
- [18] 陈广仁, 刘志远, 祝叶华, 等. 2019年中国重大科学、技术和工程进展[J]. 科技导报, 2020, 38(3): 7-33.
- [19] 刘志远, 祝叶华, 徐丽娇, 等. 2020年中国重大科学、技术和工程进展[J]. 科技导报, 2021, 39(3): 12-30.
- [20] 王康友, 徐丽娇, 刘志远, 等. 2021年中国重大科学、技术和工程进展[J]. 科技导报, 2022, 40(3): 6-24.
- [21] Ching T C, Li D, Heiles C, et al. An early transition to magnetic supercriticality in star formation[J]. *Nature*, 2022, 601(7891): 49-52.
- [22] 中国天眼FAST取得系列重要进展[EB/OL]. (2023-01-11)[2023-01-12]. <https://www.antpedia.com/news/20/n-2893920.html>.
- [23] Feng Y, Li D, Yang Y P, et al. Frequency-dependent polarization of repeating fast radio bursts—implications for their origin[J]. *Science*, 2022, 375(6586): 1266-1270.
- [24] 5篇Nature/Science|国家天文台李菡等团队找到快速射电重复暴的“身份证”[EB/OL]. (2022-03-19)[2022-12-11]. <https://mp.weixin.qq.com/s/tWgcIrKR1aB0ND8h-XITwHw>.
- [25] Niu C H, Aggarwal K, Li D, et al. A repeating fast radio burst associated with a persistent radio source[J]. *Nature*, 2022, 606(7916): 873-877.
- [26] Xu H, Niu J R, Chen P, et al. A fast radio burst source at a complex magnetized site in a barred galaxy[J]. *Nature*, 2022, 609(7928): 685-688.
- [27] 中国天眼首次探测到距离快速射电暴中心仅1个天文单位的周边环境的磁场变化[EB/OL]. (2022-09-22)[2022-10-23]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=174466-9025609070958&wfr=spider&for=pc>.
- [28] 中国半导体十大研究进展候选推荐(2022-008)——超越单结器件的世界纪录效率全钙钛矿叠层太阳能电池[EB/OL]. (2022-05-12)[2022-07-12]. <https://blog.sciencenet.cn/blog-3406013-1338226.html>.
- [29] Lin R, Xu J, Wei M Y, et al. All-perovskite tandem solar cells with improved grain surface passivation[J]. *Nature*, 2022, 606(7916): 873-877.

- ture, 2022, 603(7899): 73–78.
- [30] 南京大学今年首篇《Nature》! 全钙钛矿叠层太阳能电池重要进展 [EB/OL]. (2022-01-18) [2022-03-10]. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzA4NDk3ODEwNQ==&mid=2698854380&idx=3&sn=7534010e61385f393f1-bfaa54199a2ce&chksm=baf76f3a8d80e62cab6ad81ce8d-a15ad81cee26f0f6029acd4af7aa8edc6c294b683b19bc75-5&scene=27.
- [31] Xiao K, Lin Y H, Zhang M, et al. Scalable processing for realizing 21.7%-efficient all-perovskite tandem solar modules[J]. *Science*, 2022, 376(6594): 762–767.
- [32] 南京大学谭海仁课题组《Science》发文报道实现可量产化的全钙钛矿叠层光伏组件 [EB/OL]. (2022-05-20) [2022-07-12]. <https://www.nsf.gov.cn/csc/20340/20343/61197/index.html>.
- [33] 北大谢晓亮/曹云龙/肖俊宇等联合团队揭示新冠奥密克戎株新亚型的免疫逃逸特征 [EB/OL]. (2022-06-20) [2022-08-21]. <https://mp.weixin.qq.com/s/TR-S8es4Wb-4QTi26gTod5g>.
- [34] Wang K, Jia Z, Bao L, et al. Memory B cell repertoire from triple vaccinees against diverse SARS-CoV-2 variants[J]. *Nature*, 2022, 603(7903): 919–925.
- [35] Cui Z, Liu P, Wang N, et al. Structural and functional characterizations of infectivity and immune evasion of SARS-CoV-2 Omicron[J]. *Cell*, 2022, 185(5): 860–871.
- [36] 王祥喜团队等报道新冠灭活疫苗加强针可实现对奥密克戎突变株感染的重症保护 [EB/OL]. (2022-01-29) [2022-03-26]. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzA3-MzQyNjY1MQ==&mid=2652571243&idx=1&sn=f89afea-79654762280823e3db6fcb63a&chksm=84e095dfb3971c-c99d457c931e34a7d6c7161bad6b7ed81384ab57373566-38080bad2a6900dd&scene=21&rd2werd=1#wechat_redirect.
- [37] Cao Y, Yisimayi A, Jian F, et al. BA. 2.12. 1, BA. 4 and BA. 5 escape antibodies elicited by Omicron infection[J]. *Nature*, 2022, 608(7923): 593–602.
- [38] 预测新冠病毒变异趋势, 北大曹云龙入选《自然》年度十大人物 [EB/OL]. (2022-12-15) [2023-01-14]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1752246667827198911&wfr=spider&for=pc>.
- [39] Cao Y L, Jian F C, Wang J, et al. Imprinted SARS-CoV-2 humoral immunity induces convergent Omicron RBD evolution[J/OL]. *Nature*, 2022, doi: 10.1038/s41586-022-05644-7.
- [40] 谢晓亮/曹云龙团队新冠病毒突变株免疫逃逸机制研究入选 2022 年度“中国生命科学十大进展” [EB/OL]. (2023-01-20). <https://news.pku.edu.cn/xwzh/c213266845e74b4e973dac173344212e.htm>.
- [41] 北大/昌平实验室联合团队最新成果, 将为抗新冠病毒添新药! [EB/OL]. (2022-12-20) [2022-12-26]. mp.weixin.qq.com/s?__biz=Mzg5MzE5ODg4MA==&mid=2247488345&idx=1&sn=2eed4fbd728868f9dd6e327a04-f78013&chksm=c0332416f744ad00571d77d15da2540c2-66dc21a2599e5474622a6914df04b164c6541ee746e&scene=21#wechat_redirect.
- [42] Nature 最新发文, 揭示孤儿 GPCR 自激活机制, 为癌症治疗药物研发带来新契机 [EB/OL]. (2022-04-14) [2022-06-12]. <https://sghexport.shobserver.com/html/baijiahao/2022/04/14/713799.html>.
- [43] 张行勇, 严涛. 粘附类 G 蛋白偶联受体激活通用机制研究获突破 [EB/OL]. (2022-04-14) [2022-06-10]. <https://news.sciencenet.cn/htmlnews/2022/4/477213.shtm>.
- [44] Ping Y Q, Xiao P, Yang F, et al. Structural basis for the tethered peptide activation of adhesion GPCRs[J]. *Nature*, 2022, 604(7907): 763–770.
- [45] 孙金鹏和于晓教授团队在 Nature 背靠背发表文章阐明粘附类 GPCR 自激活及对力的感知机制, 并创新性构思出通用多肽配体拮抗剂的开发方案 [EB/OL]. (2022-04-14) [2022-05-15]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1730049500846428766&wfr=spider&for=pc>.
- [46] Xiao P, Guo S H, Wen X, et al. Tethered peptide activation mechanism of the adhesion GPCRs ADGRG2 and ADGRG4[J]. *Nature*, 2022, 604(7907): 771–778.
- [47] 清华大学结构生物学高精尖创新中心. 一周“结构”要览 VOL. 6 [EB/OL]. (2022-04-18) [2022-06-22]. <http://www.icsb.tsinghua.edu.cn/index.php?c=show&id=1131>.
- [48] Qu X L, Qiu N, Wang M, et al. Structural basis of tethered agonism of the adhesion GPCRs ADGRD1 and ADGRF1[J]. *Nature*, 2022, 604(7907): 779–785.
- [49] Yue S A, Tian F, Sui X Y, et al. High ambipolar mobility in cubic boron arsenide revealed by transient reflectivity microscopy[J]. *Science*, 2022, 377(6604): 433–436.
- [50] 刘新风研究团队首次测定超高热导率半导体—砷化硼的载流子迁移率 [EB/OL]. (2022-07-22) [2022-12-02]. http://www.nanoctr.cn/zytp2017/202207/t20220721_648-7881.html.
- [51] Wang J Q, Li L L, Hu A, et al. Inhibition of ASGR1 decreases lipid levels by promoting cholesterol excretion [J]. *Nature*, 2022, 608(7922): 413–420.
- [52] 宋保亮院士团队发现促使胆固醇外排而降脂的新策略 [EB/OL]. (2022-08-06) [2022-12-30]. https://m.thepaper.cn/baijiahao_19315727.
- [53] Li C, Zheng Y K, Wang X, et al. Layered subsurface in Utopia Basin of Mars revealed by Zhurong rover radar [J]. *Nature*, 2022, 610(7931): 308–312.
- [54] “祝融号”巡视雷达揭秘火星乌托邦平原浅表结构 [EB/OL]. (2022-09-29) [2022-10-26]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1745048559444501837&wfr=spider&for=pc>.
- [55] Andreev P S, Sansom I J, Li Q, et al. The oldest gnathostome teeth [J]. *Nature*, 2022, 609(7929): 964–968.

- [56] Gai Z K, Li Q, Ferrón H G, et al. Galeaspid anatomy and the origin of vertebrate paired appendages[J]. *Nature*, 2022, 609(7929): 959–963.
- [57] Zhu Y A, Li Q, Lu J, et al. The oldest complete jawed vertebrates from the early Silurian of China[J]. *Nature*, 2022, 609(7929): 954–958.
- [58] Andreev P S, Sansom I J, Li Q, et al. Spiny chondrichthyan from the lower Silurian of South China[J]. *Nature*, 2022, 609(7929): 969–974.
- [59] 【NATURE封面】齿与颌: 志留纪鱼类化石揭示有颌脊椎动物崛起与最初辐射分化[EB/OL]. (2022-11-05) [2022-12-23]. <https://mp.weixin.qq.com/s/8N4NA41KtU-IgngyGlpqGw>.
- [60] 4篇Nature, 5条鱼, 中国科学院朱敏团队在“从鱼到人”探源研究取得重大突破[EB/OL]. (2022-09-29)[2022-12-11]. <https://mp.weixin.qq.com/s/H0vEjNyMKld0SCF-Kqhnybw>.
- [61] Chen R T, Ren Z F, Liang Y, et al. Spatiotemporal imaging of charge transfer in photocatalyst particles[J]. *Nature*, 2022, 610(7931): 296–301.
- [62] 伊晓东, 高飞雪. 我国学者在光催化剂粒子全时空尺度电荷分离传输过程成像研究方面取得进展[EB/OL]. (2022-10-31) [2022-12-09]. <https://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab448/info87624.htm>.
- [63] Xie H P, Zhao Z Y, Liu T, et al. A membrane-based seawater electrolyser for hydrogen generation[J]. *Nature*, 2022, 612: 673–678.
- [64] Nature重磅: 谢和平院士团队开创海水原位直接电解制氢全新路径, 破解该领域半世纪难题! [EB/OL]. (2022-12-07)[2022-12-13]. <http://www.nanoer.net/show-info-32-47399.html>.
- [65] 袁于飞. 2022年中国十大科技进展新闻揭晓[N]. *光明日报*, 2023-01-13(8).
- [66] Yang C, Liu H W, Liu Y, et al. Signatures of a strange metal in a bosonic system[J]. *Nature*, 2022, 601(7892): 205–210.
- [67] 之江实验室研究成果登上《科学》[EB/OL]. (2022-01-25)[2022-12-01]. http://www.yuhang.gov.cn/art/2022/1/25/art_1532128_59005949.html.
- [68] Sun K, Tan D Z, Fang X Y, et al. Three-dimensional direct lithography of stable perovskite nanocrystals in glass[J]. *Science*, 2022, 375(6578): 307–310.
- [69] 我国科学家首次在超冷原子分子混合气中实现三原子分子的量子相干合成[EB/OL]. (2022-02-10) [2022-10-12]. <https://news.ustc.edu.cn/info/1048/78385.htm>.
- [70] 王敏. 中国科大成果入选2022年国际物理学十大突破[N]. *中国科学报*, 2022-12-26(1).
- [71] Yang H, Wang X Y, Su Z, et al. Evidence for the association of triatomic molecules in ultracold $^{23}\text{Na}^{40}\text{K}+^{40}\text{K}$ mixtures[J]. *Nature*, 2022, 602(7896): 229–233.
- [72] Yang H, Cao J, Su Z, et al. Creation of an ultracold gas of triatomic molecules from an atom-diatom molecule mixture[J]. *Science*, 2022, 378(6623): 1009–1013.
- [73] 李依环. 中国科大科研团队建立蛋白质从头设计新方法[EB/OL]. (2022-02-14)[2022-06-15]. <http://edu.people.com.cn/n1/2022/0214/c1006-32351439.html>.
- [74] Huang B, Xu Y, Hu X H, et al. A backbone-centred energy function of neural networks for protein design[J]. *Nature*, 2022, 602(7857): 523–528.
- [75] 清华大学任天令团队《Nature》发文报道首次实现亚1纳米栅长晶体管[EB/OL]. (2022-03-18)[2022-08-04]. <https://www.nsf.gov.cn/csc/20340/20343/59687/index.html>.
- [76] Wu F, Tian H, Shen Y, et al. Vertical MoS_2 transistors with sub-1-nm gate lengths[J]. *Nature*, 2022, 603(7900): 259–264.
- [77] 我国科学家发现可同时提高水稻玉米产量的关键基因[EB/OL]. (2022-03-25) [2022-05-15]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1728238033238696156&wfr=spider&for=pc>.
- [78] Chen W K, Chen L, Zhang X, et al. Convergent selection of a WD40 protein that enhances grain yield in maize and rice[J]. *Science*, 2022, 375(6587): eabg7985.
- [79] 晋浩天. 我科学家在新一代干细胞制备技术上取得重要突破[N]. *光明日报*, 2022-04-15(08).
- [80] Guan J Y, Wang G, Wang J L, et al. Chemical reprogramming of human somatic cells to pluripotent stem cells[J]. *Nature*, 2022, 605(7909): 325–331.
- [81] 我国学者在碳家族单晶新材料创制方面取得突破[EB/OL]. (2022-06-27)[2022-12-02]. <https://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab1238/info86532.htm>.
- [82] Hou L X, Cui X P, Guan B, et al. Synthesis of a monolayer fullerene network[J]. *Nature*, 2022, 606(7914): 507–510.
- [83] 科学家一锅法制备出高导电n型聚合物[EB/OL]. (2022-09-15) [2022-12-06]. https://www.ncsti.gov.cn/kjdt/kjrd/202209/t20220915_97591.html.
- [84] Tang H R, Liang Y Y, Liu C C, et al. A solution-processed n-type conducting polymer with ultrahigh conductivity[J]. *Nature*, 2022, 611(7935): 271–277.
- [85] 清华《Nature》: 另辟蹊径! 研制元成像芯片, 突破光学像差难题[EB/OL]. (2022-10-27)[2022-12-11]. https://www.sohu.com/a/600337236_344863.
- [86] Wu J M, Guo Y D, Deng C, et al. An integrated imaging sensor for aberration-corrected 3D photography[J]. *Nature*, 2022, 612(7938): 62–71.
- [87] 薄克国. 全球首艘10万吨级智慧渔业大型养殖工船在青岛出坞下水[EB/OL]. (2022-01-27)[2022-12-12]. https://dzrb.dzng.com/articleContent/1176_959337.html.
- [88] 全球首艘10万吨级智慧渔业大型养殖工船交付运营

- [EB/OL]. [2022-12-12]. <https://news.bjd.com.cn/2022/05/20/10090561.shtml>.
- [89] 世界单台容量最大潮流能发电机组在浙江舟山启动 [EB/OL]. (2022-02-24) [2022-12-12]. <http://www.chinanews.com.cn/cj/2022/02-24/9685043.shtml>.
- [90] 张瑾, 柴宇皓. “奋进号”并网运行稳定 岱山LHD潮流能开发走向产业化 [EB/OL]. (2022-05-05) [2022-12-14]. <https://zj.zjol.com.cn/news.html?id=1855319>.
- [91] 邓媛雯, 戴海滨. 中国自主研发的鲲龙 AG600 全状态新构型灭火机首飞成功 [EB/OL]. (2022-05-31) [2022-12-14]. <https://www.chinanews.com.cn/cj/2022/05-31/9768022.shtml>.
- [92] 矫阳. 鲲龙 AG600 全状态新构型灭火机首飞成功 [EB/OL]. (2022-05-31) [2022-12-14]. <http://www.stdaily.com/index/kejixinwen/202205/bc82dec11bb4f4fa7a4131-9e3b77424.shtml>.
- [93] 乐水. “福建舰”下水掀开中国海军航母发展新篇章 [EB/OL]. (2022-06-21) [2022-12-14]. http://www.china.com.cn/opinion/2022-06/21/content_78281535.html.
- [94] 我国建成世界首条环沙漠铁路线 [N]. 西藏商报, 2022-06-17(19).
- [95] 一箭六星! 中国迄今运载能力最大固体运载火箭“力箭一号”首飞成功 [EB/OL]. (2022-07-27) [2022-12-14]. http://www.ce.cn/xwzx/gnsz/gdxw/202207/27/t20220727_37910412.shtml.
- [96] 吴雅楠, 余建斌. “力箭一号”创新突破亮点多 [N]. 人民日报, 2022-09-05(19).
- [97] 我国成功发射综合性太阳探测卫星“夸父一号” [EB/OL]. (2022-10-09) [2022-12-22]. https://www.cas.cn/yw/202210/t20221009_4850182.shtml.
- [98] 孙自法. 中国“夸父一号”首批太阳观测科学图像发布实现多项首次 [EB/OL]. (2022-12-13) [2022-12-22]. <https://www.chinanews.com.cn/gn/2022/12-13/9914122.shtml>.
- [99] 刘欢. 这一年, 中国载人航天事业解锁了哪些成就? [EB/OL]. (2022-12-31) [2023-01-05]. <https://www.chinanews.com.cn/gn/2022/12-31/9925359.shtml>.
- [100] 侯雪静, 林善传. 全球单机容量最大 16 兆瓦海上风电机组下线 [EB/OL]. (2022-11-23) [2022-12-25]. http://www.news.cn/fortune/2022-11/23/c_1129153075.htm.
- [101] 安源. 国内首台完全自主知识产权 F 级 50MW 重型燃气轮机完成设备制造发运交付 [EB/OL]. (2022-11-25) [2022-12-08]. <https://www.chinanews.com/cj/2022/11-25/9902495.shtml>.

Top advances of science, technology and engineering from China in 2022

WANG Kangyou, LIU Zhiyuan, ZHU Yehua, XU Lijiao*

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

Abstract For the event sponsored by *Science & Technology Review* to select Chinese annual top advances in science, technology and engineering, altogether top 10 scientific, top 10 technological and top 10 engineering achievements during January 1 to December 31 of 2022 have been selected from respective published influential academic journals and scientific newspapers. The selection procedure involved screening and recommending candidates internally, followed by appraisal of experts including editorial board members and external reviewers. This article introduces these achievements in a time sequence of publishing.

Keywords S&T achievements of China; major advance of science; major advance of technology; major advance of engineering ●



(责任编辑 王志敏)