

勇攀高峰，科技创新硕果累累

编者按 6月24日，2023年度国家科学技术奖在京揭晓。其中，自然科学奖连续9次产生一等奖，基础研究领域重大成果持续产出。面向国家重大战略需要，交通运输、电子信息、先进制造等多个重要领域取得一批标志性成果。本报就此推出专题报道，对部分获奖项目进行解读，展示我国科技事业取得的瞩目成就。

高速奔驰向“复兴”

◎本报记者 郑阳

从活力奔涌的京畿大地，到人迹罕至的雪域高原，从皑皑白雪的东北边陲，到春和景明的江南胜地……从时速160公里到350公里，复兴号奔驰在祖国广袤的大地上，极大地提升了人民群众的出行获得感、幸福感和自豪感。同时，为世界铁路发展提供中国方案、中国技术、中国智慧。

6月24日，“复兴号高速列车”被授予2023年度国家科学技术进步奖特等奖。

上世纪，中国铁路客车平均旅行时速不到60公里。2007年，通过技术引进以及和谐号系列动车组的研制，中国高铁技术取得一批创新成果，但依然存在关键技术未完全掌握、国外技术平台不能完全适应国内运用需求等问题。

“一些关键技术参数调整和软件修改必须通过外方，整车和关键系统、部件不统一导致运用检修成本高、效率低、难度大。这些都制约着中国高铁的健康发展和‘走出去’。”国铁集团总工程师周黎说。

2012年底，原铁道部牵头，联合中国中车等国内多家单位组成研发创新团队，全产业链几百家核心配套企业共同参与，全面启动了高标准动车组的研发之路。

“只有把关键核心技术牢牢掌握在自己手中，才能真正打造出让领先领跑的大国重器。”中国中车首席科学家王军说，从开始研发，团队就瞄准了全面自主掌握核心技术和达到世界领先的目标。

一列高铁列车有50多万个零件，是一项庞大的超级工程。加上我国特有的复杂地理气候条件、超长距离持续高速运行工况等因素，自主研发面临前所未有的挑战。为设计出性能最优的车头，研发团队进行了海量的仿真计算和试验，当最终的“头型”出炉时，满载数据的纸张堆

了近一人高；为达成降噪目标，团队针对不同材料和结构的隔音情况做了3000多次试验；为让列车跑得又快又稳，研发人员反复对比几十种参数组合方案；为给列车装上“中国脑”，研发人员仔细敲下一行行代码，逐一验证一项项功能，进行了上百次技术方案探索，终于实现列车网络控制系统的完全自主化……

中国标准动车组样车下线后，为做好列车性能验证和优化，团队又马不停蹄，先后辗转北京环铁、大西客专、郑徐客专、哈大客专做线路试验，运行里程61万公里，相当于绕地球赤道跑了15圈……

历经5年，复兴号高速列车突破了整车设计以及车体、转向架、牵引、制动、网络等核心技术，实现了从整车到系统，从硬件到软件的全面自主掌握。

2017年9月21日，复兴号高速列车在京沪高铁以时速350公里运营，树立起世界高铁商业运营的新标杆。至此，中国高铁动车组关键技

术实现全面自主化，迈出从追赶领跑的关键一步。

此后，时速160公里至350公里的复兴号系列动车组陆续投用，开行范围覆盖31个省市区，成为国内高铁运营的主力车型。自2021年起，复兴号列车开始向老挝、印度尼西亚等国出口。

截至2023年底，复兴号系列动车组已投用1194列，出口12列，列车安全运营23.4亿公里。

复兴号高速列车创建了高速列车全链条设计制造体系，突破了高速列车高性能动力与控制技术，创立的时速350公里高速列车标准体系填补了国际空白。同时，复兴号高速列车还取得了人均百公里能耗降低20%、车内噪声降低2分贝、平稳性提升8%、高级别维修周期延长37.5%、百万公里故障率下降30%的成绩。

当前，中国铁路科技创新团队正加速研制CR450高速动车组。这是速度更快、更加节能、更加环保、更加安全的新一代动车组，未来将进一步引领世界动车组的发展方向。



一列“复兴号”CR400AF型动车组行驶在衡柳线柳州西站附近。

兰炳倡摄

挺进深海采气田

◎本报记者 操秀英

累计生产天然气超过80亿立方米！

这是我国首个自营1500米超深水大气田“深海一号”自正式投产以来交出的傲人成绩单。

在海南陵水海域，全球首座十万吨级深水半潜式生产储油平台——“深海一号”如同一个超大型“巨无霸”傲然矗立在蓝海之上。它可以把水下1500米深的天然气采出来，通过海底管道接入全国天然气管网，分离出的凝油再通过油轮运输到陆地。

6月24日，由中国海油牵头完成的“‘深海一号’超深水大气田开发工程关键技术与应用”荣获2023年度国家科学技术进步奖一等奖。

“深海一号”是我国首个自营超深水大气田，于2014年勘探发现、2021年6月25日正式投产，天然气探明地质储量超千亿立方米，最大作业水深超过1500米。这是我国迄今为止自主发现的水深最深、勘探开发难度最大的海上气田，也是我

国华南地区“由海向陆”保供的主力气田。

“深海一号”超深水大气田工程关键设施包括1座十万吨级半潜式生产储油平台、16根聚酯系泊缆和6根钢悬链立管、200余公里的海底管道和11口深水天然气开发井。它的建成标志着我国海洋油气自主开发能力实现了从300米深水到1500米超深水的历史性跨越。

3项世界级创新、13项国内首创技术，“深海一号”实现了我国深水油气开发和深水海洋工程装备技术的重大突破。中国海油技术专家介绍，“深海一号”项目开创了极恶劣海况下超深水气田经济开发新模式，破解了超大吨位结构物建造总装、动态管缆长期安全服役和安全高效钻完井等关键技术难题。

记者了解到，“深海一号”建立了“水下生产系统回接半潜式生产储油平台”气田开发新模式，在世界首创半潜式生产平台“内胆式”立柱储油技术；创建了十万吨级半潜式生产储油平台完整建造技术体系，创造敞口结构物横向转移装船最大吨位（3.3万吨）的世界纪录，实现超

大结构物半漂浮精准合龙；建立恶劣海况超深水动态管缆总体设计与验证系统，实现18英寸钢悬链立管在1500米水深半潜式生产平台的世界首次应用；创新超深水开发井安全高效钻井技术，首创超深水气侵早期监测预警技术，研发深水井筒完整性、高效防砂和上下部一体化完井技术，有效保障超深水井作业安全，显著降低深水钻完井作业费用。

“深海一号”项目曾获评第七届中国工业大奖，形成发明专利超60件、论文超80篇、标准超70部，促成十余项关键成套设备国产化，有效引领了国内深水油气装备产业链发展，技术成果成功推广至“海葵一号”“海油观澜号”等多项重大工程，有望撬动更大规模海上天然气资源的经济高效自主开发。

“深海一号”项目使我国成为继美国、挪威后全球范围内第3个具备超深水油气资源自主开发能力的国家，也为世界范围内其他国家和地区经济安全开发深海油气资源提供了先进可靠的“中国方案”。

网络安全发“护照”

◎本报记者 崔爽

“互联网研究要与国家战略紧密相连，也要掌握技术进步的规律。只有将二者结合，才能打赢互联网核心技术攻坚战，为建设网络强国作出贡献。”中国工程院院士、中关村实验室主任、清华大学网络研究院院长吴建平说。

6月24日，由清华大学牵头的“下一代互联网源地址验证体系结构SAVA关键技术”与规模化应用”项目（以下简称“SAVA项目”）获2023年度国家科学技术进步奖一等奖。

作为项目第一完成人，吴建平表示，SAVA项目是攻克互联网核心技术的一个成功范例。它源于国家重大战略需求，实现了互联网核心技术的创新，解决了互联网的重大技术难题。“SAVA主要用于解决下一代互联网的可靠安全问题。我们提出这个问题已将近20年了。”吴建平说。

2005年，由于长期缺乏有效的真实源地址验证，网络空间面临假冒源地址横行的重大安全隐患。“这就相当于人在社会上没有身份证、

没有护照，出现安全问题无法追根溯源。如何在下一代互联网体系结构上实现源地址验证，是一个非常值得研究的问题。”吴建平回忆道，当年，我国在国际上首次提出真实源地址验证体系结构SAVA，支持互联网真实源地址的精确定位和地址溯源。2008年，SAVA相关技术被国际互联网标准组织IETF确立为互联网标准RFC 5210，这是我国第一个非信息类的RFC，标志着我国在互联网关键技术上的突破。

“项目实现了4项技术创新，包括建立分而治之、端网协同的体系结构，实现地址同步、多模异构的接入验证，路由同步、动态过滤的域内验证和多域同步、协作信任的域间验证。这些技术均达到国际领先水平。”吴建平介绍，与国际上同类技术方案相比，SAVA技术首次从体系结构上实现源地址验证，在完整性、准确性、无漏判误判、验证效率、可扩展和可部署等方面具有明显优势。

如今，SAVA项目成果已经在国内外主流网络设备厂商的50余种产品上得到应用，并被大规模推广到中国教育网主干网（CERNET）、高

校IPv6校园网、中国电信IPv6主干网、天翼物联网和5G行业专网，以及国家重点行业专网等，成为我国攻克互联网核心技术的典范。

此外，项目还推动国际互联网标准化组织IETF成立专门工作组SAVI和SAVNET，完成IETF国际互联网标准8项，显著提升了我国互联网核心技术国际标准话语权。“通过SAVA等一系列研究，我们积极参与互联网国际标准建设。”吴建平表示。

互联网安全是一场没有硝烟的攻防战。吴建平谈道，后续还要在推广应用方面下功夫，让技术成果真正服务于国家和社会。

吴建平说，SAVA项目目前已经开始发“护照”，今后在“护照”的基础上还要发“签证”。因此，未来要进一步细化和优化这项技术，让互联网的接入端、网内、网间都开启认证。

“中国互联网发展已经实现从无到有、从小到大的蜕变，影响了整个国家，甚至影响了整个世界。”吴建平感慨良多，“我们正在从弱到强的路上，路途必然是艰难的，关键是必须打赢互联网核心技术攻坚战。”

拓扑物理探新知

◎本报记者 陆成宽

“拓扑电子态的发现和研发，不仅深刻地改变了人们对物态的认识，而且为低能耗电子器件等变革性技术的发展带来无限可能。”中国科学院院士方忠在接受记者采访时介绍，国际上拓扑电子态的相关研究已经三次获得诺贝尔物理学奖。

6月24日，拓扑电子态研究领域再次成为焦点。以方忠等人为主要完成人的中国科学院物理研究所团队因“拓扑电子材料计算预测”获得国家自然科学奖一等奖。

搞清楚这项研究前，先说说什么是“拓扑”。拓朴学是数学的一个分支，主要研究几何图形在连续形变下保持不变的属性。

“比如，揉面团时，无论揉成球形，还是椭圆形，面团外表面一直都在经历连续形变，但面团外表面所包裹的孔洞数目一直都是0。这个在连续形变下保持不变的孔洞数目，就是面团外表面的一个拓朴属性。”方忠形象地说。

同样，拓扑电子材料具有在连续形变下保持不变的拓朴稳定性，不会因为挤压形变而改变电子分布的拓朴特性。

“拓朴电子材料的最大特点是具有受到拓朴保护的边界导电态，而且该导电态具备动量-自旋锁定的特性，因此在开发低能耗、高主频、高容错的自旋电子器件方面具有潜在的应用价值。”方忠说。

事实上，方忠团队对拓朴电子材料的研究，最早可以追溯到2003年。“当时我刚刚从国外回到中国科学院物理研究所工作。那时，我在工作中发现，铁磁体中电子态形成的磁单极，贡献了内禀的反常霍尔效应。”方忠回忆。

2010年，方忠等人提出了实现量子反常霍尔效应的材料体系和具体方案；2013年，国际上多个实验团队在他们提出的材料体系中精准地观

测到了量子反常霍尔效应，证实了理论预言。

谈起这些年的拓朴电子态研究历程，方忠感慨道：“俗话说，会者不难，难者不会。从‘不会’到‘会’需要长期积累、坚持不懈。在此基础上做出发现还需要一点点运气和灵感。”

2013年，方忠团队在研究拓朴绝缘体五碲化铋时，提出了分别用铋（Bi）和砷（As）对其进行电子和空穴掺杂的设想。但随后，团队在与实验合作者讨论时意识到，Bi和As可能会形成稳定的相。于是，团队检索到化合物碲化铋（TeAs），并注意到它有一些独特的物理性质。最终经过计算分析确认，TeAs就是他们一直在寻找的非磁性外尔半金属。

“我至今还记得那一天，团队成员翁红明通过邮件将这个好消息告诉了我。我当时立刻用手机回复了‘非常棒’！大家都很高兴。”方忠说，计算成果一经发布，就引起了实验验证外尔费米子的激烈竞争，TeAs成为世界上首个经实验确认的外尔半金属。

这一成果被英国物理学会评为《物理世界》2015年十大突破，也被美国物理学会评为2015年《物理》八大亮点工作等。2018年，该成果被美国物理学会选入《物理评论》系列期刊创刊125周年纪念文集，成为入选的49项重要研究中唯一来自中国的工作。

当前，拓朴新物态、新材料和新现象研究呈井喷式爆发，拓朴材料体系不断涌现。拓朴电子态的概念也被迅速推广到其他领域，产生了拓朴光子晶体、拓朴声子晶体、拓朴声波等。

“拓朴态是认识物质世界的全新视角，我相信拓朴时代的黎明即将到来。”方忠说。面向未来，方忠团队的研究重点方向之一是基于拓朴材料数据库，着重研究具有应用前景的拓朴材料和拓朴量子效应，包括磁性拓朴态、手性费米子、拓朴热电等，同时还要发展相关的材料和物性计算能力、制备和表征测量的实验设备等，推动拓朴电子器件的创新和应用。

扬帆起航驭长风

◎本报记者 何亮

6月24日，由三峡集团作为第一完成单位申报的“海上风电安全高效开发成套技术和装备及产业化”项目（以下简称“海上风电项目”）获得2023年度国家科学技术进步奖一等奖。

海上风电项目，跨度逾十年。它的开展，让我国海上风电事业从“一片空白”走向“世界领先”，助我国海上风电装机容量登顶世界。

说到中国海上风电，绕不开两片海。一片是中国海上风电“摇篮”东海，另一片则是“挑战密布”的南海。

2010年，亚洲首座大型海上风电场——上海东海大桥风电场开启了我中国海上风电建设实战阶段。2021年，315台“中国三峡”风机列阵南海，四大类16种细分基础型汇集海上风电基础“博物馆”，以多个“全国之最”“世界之最”为我国海上风电发展积累了宝贵经验。

从2010年到2021年，由三峡集团主导的海上风电项目加速推进。面对海底地基复杂、强台风、大浪流等海洋环境，项目团队开展风机复合筒型、大直径筒型、新型嵌岩桩等筒型基础结构研究和抗冰结构研究，让风电桩在海底稳稳“扎根”。

立足海上风电建设窗口期短的现实，项目团队提出复杂海洋环境下海上风电安全高效施工安装成套技术，并研制新型施工安装装备。

为加速海上风电机组大型化发展，项目团队破解我国海域特有环境适应性难题，推动从4兆瓦到16兆瓦系列海上风机的开发和产业化，引领风机容量进入“两位数时代”。“中国造”风机阵



图为三峡集团阳江沙扒海上风电项目。

三峡集团供图