

国家自然科学奖一等奖“拓扑电子材料计算预测”

## 打开认识物质世界的新视角

本报记者 吴月辉

国家自然科学奖一等奖是我国自然科学领域的最高奖项，在科技界备受瞩目。

在日前揭晓的2023年度国家科学技术奖中，中国科学院物理研究所所长、中国科学院院士方忠团队的拓扑电子材料计算预测项目获得这一殊荣。

长期以来，方忠团队致力于凝聚态物质中新奇量子现象的计算与理论研究。

“凝聚态物理主要是研究物质的各种状态。”方忠说，“以前，大家认为所有物质的状态都可以用对称性来描述。但事实并不是完全如此。这次获奖项目的重要意义就在于使我们认识到物质世界还有一大类物态需要用拓扑这个概念来描述。我们称之为拓扑物态。可以说，这两大类加起来才是所有物质的状态。这极大地拓展了我们的认知边界。”

拓扑，是数学中非常重要的概念，用于研究几何物体在连续形变下保持不变的性质。后来，这个概念被科学家引用到物理学中，描述材料中电子分布的整体状态。

方忠团队对拓扑电子材料的研究，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。我在研究中发现，铁磁体中电子态形成的磁单极，导致了内禀的反常霍尔效应。”他回忆说。

20多年来，方忠团队一直在该领域潜心耕耘，取得了累累硕果——

2010年，方忠等人提出了实现量子反常霍尔效应的材料体系的具体方案；

2013—2014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；

2015年，团队计算发现了外尔半金属，并被实验迅速证实。其后，他们还提出了节点线半金属、三重简并半金属等，进一步拓展了拓扑半金属材料家族；

2019年，团队完成了拓扑电子材料数据库的建设，从3万多个已知的材料中筛选出近8000个拓扑非平庸的材料，加快了拓扑电子材料的发现和研究。

当前，拓扑新物态、新材料和新现象研究成为国际热点，拓扑材料体系不断涌现。丰富奇异的拓扑物性，也为新型功能器件的应用奠定了重要的科学和材料基础。

方忠说：“一般物质材料因为有电阻，电子在传输过程中就会产生热量。利用这些新的拓扑材料，就有可能实现没有电阻的电子输运状态，从而降低能耗。”

此外，该团队还提出并实现了一种全新的拓扑不变量计算方法，并已发展成为研究拓扑性质的标准计算方法。同时，他们也提供了一种新的研究范式，加速了新物态和新材料的发现。

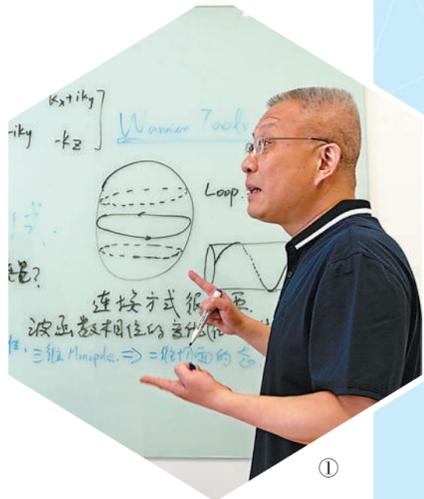
拓扑电子态的概念，也被迅速推广到其他领域。

据了解，中国科学院物理研究所的一个团队在光学器件的设计中使用了数学的拓扑原理，使得该半导体激光器的聚光效果提升了数十倍。

方忠提到，未来团队的研究重点方向之一，是基于拓扑材料数据库，着重研究具有应用前景的拓扑材料和拓量子效应，包括磁性拓扑态、手性费米子、拓热电子等。同时，研发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，推动拓扑电子器件的创新和应用。

谈起这些年的拓扑电子态研究历程，方忠表示，做科学研究需要长期积累和坚持不懈，才会有取得突破的可能。

“拓扑态是认识物质世界的全新视角，为变革性技术的出现提供了全新的物理原理与实际材料，我相信拓时代的黎明即将到来。”方忠说。



①

国家科技进步奖一等奖“食药菌全产业链关键技术创新及应用”

## 推动食药菌产业高质量发展

本报记者 刘诗瑶

如今，食药菌产业已成为继粮、油、果、蔬后我国第五大农业种植业，是保障国家粮食安全和推进乡村全面振兴的重要产业。据统计，我国单是食用菌年产量40多年来就增长了700多倍，从1978年5.7万吨到目前超4000万吨，年产值达3000多亿元。

小蘑菇变成大产业，造福民生福祉，背后是科技创新的力量。由中国工程院院士李玉领衔的科研团队，历经多年攻关，通过食药菌育种、栽培、加工全产业链技术创新及应用，推动产业实现高质量发展。

做好中国人自己的食药菌资源调查与保育，是李玉团队从事科学研究重要的目标之一。为了保护菌类种质资源，团队成员走遍了大江南北。每年4月底5月初，团队就开始深入自然保护区，每隔10天到山上集中采一次蘑菇，回来整理资料……如此循环往复，一般会持续到9月份，几乎贯穿野生蘑菇的整个生长周期。团队成员不怕辛苦，不仅练就了不怕蚊子咬的“技能”，还练出了深山识路的本领。通过看月亮、看星星、看树皮来识别方向，遇山顺坡走、遇水顺水走等，都是他们的“不迷路真经”。

基于常年采样调查，李玉团队对我国典型生态系统进行了菌物资源调查及系统分类研究，发表新种130余个，记录中国黏菌430余种，占世界已知种的43%。李玉也成为第一个为黏菌命名的中国人。他提出了菌物多样性“一区一馆五库”思路，构建了菌物多样性保护创新体系——在自然保护区里设立菌类保育区，建设标本馆，打造菌种库、活体库、有效物质库、基因库和信息库，建成国际领先、年入库量全国最多的食药菌种质资源库，为世界菌物资源保育提供了中国方案。“即使我们追不上某个菌类物种消失的速度，有一天也能从库里进行信息溯源，实现再利用。”李玉说。

为更好推进食药菌产业，李玉团队推

动栽培技术革命，创建“表型+基因型+功能成分+活性评价”精准育种技术，选育具有自主知识产权的主栽新品种42个。每年，李玉都要带领团队成员深入田间地头、菇棚车间开展科普宣传。每到这个时候，周围的菌农就像过节一样，从四面八方赶来，为的是听他一堂课。据不完全统计，李玉团队先后培训当地技术骨干8000多人，辐射带动菌农3万余户。

李玉团队率先提出并践行“木腐菌草腐化”理论，木腐菌从“吃木”变为“吃草”，生产1吨食用菌干品可消耗1.33吨秸秆，经济效益提升3.42倍，累计消耗农业废弃物1.24亿吨。团队还开发出黑木耳全日光间歇雾栽培和小孔出耳技术，实现黑木耳“大田”栽种的革命性转变，种植面积36年增加1000倍。他们解决了北方食用菌发展中的工程技术难题，实现了“南菇北移”“北耳南扩”的食用菌产业发展战略。

在李玉看来，“蘑菇不只是一盘菜”，必须走向深加工。他带领团队研发出木耳冰淇淋、木耳脆片、木耳茶、木耳益生菌等新产品，形成木耳全产业链产品矩阵，带动百姓脱贫致富。

李玉团队还把食用菌种植技术推广到非洲。针对赞比亚的热带气候，他们集成创新出适宜当地种植的食用菌品种8个和配套生产技术体系。

李玉团队没有停止前行的脚步，他们更大的梦想是让中国发展为食药菌产业强国，让老百姓吃上更健康、更放心的好蘑菇。“对这个梦想，我们满怀信心。”李玉说。



③



④

6月24日，全国科技大会、国家科学技术奖励大会和中国科学院第二十一次院士大会、中国工程院第十七次院士大会隆重召开。2023年度国家科学技术奖共评选出250个项目和12名科技专家。获奖者们锚定科技强国建设目标，坚持“四个面向”、勇攀科技高峰，努力为中国式现代化建设贡献力量。

根据国家科学技术奖励工作办公室的推荐，我们采访了部分获奖项目的完成人，介绍这些成果取得的重要突破，展示科研人员矢志创新、加快实现高水平科技自立自强的风采。

——编者

# 坚持「四个面向」

# 勇攀科技高峰

——二〇二三年度国家科学技术奖获奖项目巡礼(上)

国家技术发明奖二等奖“柔性直流换流器关键技术及应用”

## 探索电网调节的新路径

本报记者 喻思南

风能、光能等清洁能源由于存在发电波动性和间歇性等短板，大规模并网会影响电网稳定运行。破解这一难题，柔性直流输电技术是重要手段之一。

2004年，时任中国电力科学研究院输配电国家工程中心副主任的汤广福带领研发团队，开启新一代直流输电技术的探索。

很长一段时间，应对清洁能源大规模并网接入挑战，国际主流解决方案是国外提出的轻型直流输电技术。该技术不依赖电网电压换相，控制更灵活，但电压低、容量小，无法满足千兆瓦级跨区域输电需求。

有没有更好的实现路径？研发团队意识到，模块化多电平技术路线或许是个好方法。但该路线仅是一个概念，从电气实现、机械结构、仿真验证到工程实现，全靠自己去摸索。“从搞清原理到工程实现，全靠自己摸索。”国网智能电网研究院总工程师贺之渊回忆。

模块化多电平换流器由数百甚至数千个模块构成，每个模块就是一个小电源，各个模块独立地投入切出控制，既要维持自身的能量吞吐平衡，还要实现整体的交直流变换功能，做好非常困难。

2005年，贺之渊加入团队时，正在中国电力科学研究院攻读博士学位。在汤广福指导下，贺之渊和研究团队在“无人区”摸爬滚打，经过10余次设计迭代、70余次专家评审，首次建立了完备的柔性直流输电技术研究理论体系，攻克了数字电路在高电压场合的高耐压能力和高抗电磁干扰难题，并于2010年成功研制出柔性直流换流器工程样机。

工程应用，做出样机只是第一步。2011年7月，亚洲首条柔性直流输电工程在上海建成，实现了我国柔性直流输电技术领域零的突破。国家电网有限公司由此成为全球第三家完全掌握柔性直流输电成套设备设计、试验、调试和生产全系列核心技术的企业。

在此基础上，国网智能电网研究院牵头的研发团队，攻关更高参数等级的柔性直流输电装备，朝着千兆瓦级容量的目标进发。多年努力结出硕果：团队揭示了换流器换流机理，提出了动态多物理场综合调控方法，发明了换流器高速精准控制保护技术……一系列重大创新，助推我国在该领域迈向世界前列。

2013年，团队研制出世界首个±320千伏/1000兆瓦柔性直流换流器，破解了柔性直流向千兆瓦级以上容量发展的技术瓶颈。2015年，该产品在厦门±320千伏柔性直流输电科技示范工程中成功应用，为大城市可靠供电开辟了新途径。2020年，我国建成世界首个±500千伏/3000兆瓦张北柔性直流电网试验示范工程，让“张北的风点亮北京的灯”。

中国柔性直流技术已经走向世界。2022年，国网智能电网研究院牵头的中国团队与国际同行竞技，成功中标±320千伏/1030兆瓦德国BorWin6海上风电柔性直流工程。该工程对系统可用率、平台重量、新型控制策略等方面要求非常严格，团队在价格高于竞争对手的情况下，依靠最高技术评分脱颖而出。

高端输电技术首次进入欧洲市场，印证了我国柔性直流技术及柔性直流换流阀等高端电气设备的竞争力。

贺之渊表示，目前团队正在研发新型柔性直流输电技术。该技术在保留柔性直流输电技术优点的同时，又具备常规输电技术低损耗、高电压、大容量的特点，从而兼具经济性和技术先进性。

“20年来，我国柔性直流输电技术实现了从追赶引领的跨越式发展。锚定目标，持续攻关，自主创新大有可为，也大有作为。”贺之渊说。

图①：方忠在讲解研究进展。

新华社记者 金立旺摄

图②：汤广福(中)指导团队开展柔性直流输电技术研发。

国网智能电网研究院供图

图③：李玉在查看黑木耳工厂化栽培情况。

丁雷摄

图④：于金明(中)在为患者制订诊疗方案。

山东第一医科大学附属肿瘤医院供图

本版责编：刘诗瑶

版式设计：张芳曼

国家科技进步奖二等奖“肺癌放疗联合分子靶向和免疫治疗的关键机制与临床应用”

## 为肺癌诊疗设计精准方案

本报记者 谷业凯

在山东第一医科大学附属肿瘤医院，一场由该院院长、中国工程院院士于金明牵头的肺癌多学科联合诊疗正在进行。从2015年开始，多学科联合诊疗已成为于金明乃至全院医生每周固定的工作安排。“我们集中不同学科专家的智慧，以精准诊断和治疗为前提，提供以患者为中心的个体化诊疗方案。”于金明说。

肺癌是极其复杂的疾病，特别是肺癌，不同的治疗方法可能有不同的疗效和副作用。放疗是肺癌最有效的局部治疗手段之一，在医学技术进步、多学科交叉融合的背景下，如何使放疗联合分子靶向和免疫治疗等治疗方式，从整体上提高疗效，使患者获益最大化，是于金明和团队一直在思考的问题。

于金明深知，要在临床上取得突破，研究必须奔着基础去。在肺癌放疗联合分子靶向和免疫治疗的研究中，团队从基础层面探究联合给药机制，绘制了我国放疗重塑机体抗肿瘤“免疫图谱”，并通过系列细胞和动物研究，发现了放疗诱发免疫应答的关键通路及靶点，在分子水平上筛选出联合治疗的新靶点、新机制。于金明团队在放疗免疫基础研究方面取得的成果，为临床转化提供了理论基础，在国际上产生了重要影响。

为了在分子层面获得精准的治疗方案并监测疗效，团队还自主建立了中国肿瘤人群基因组数据库，构建了多款高通量测序检测组套，开发了与之对应的全自动生物信息学分析流程，实现肺癌免疫微环境的分子影像可视化，为科学研究和临床应用打下坚实的基础。团队成员、山东第一医科大学附属

肿瘤医院科教外事部主任陈大卫说：“我们开发的系列产品和检测技术灵敏度高，在国内外获得多项专利授权，相关试剂盒产品获国家药品监督管理局批准上市，已在国内外超150家医疗机构使用。”

针对放疗带来的正常组织损伤，团队创新提出了“免疫调节精准计划”理念。他们研发的专利技术“一种照射剂量确定方法及系统”，能够设计出精准动态调节的放疗方案，实现飞秒级、高精度的“靶区”勾画。

“我们将新型靶向、免疫治疗药物与精确放疗技术结合，通过全国多中心的临床研究，验证了免疫治疗在中国肺癌患者中的安全性和有效性，创建了放疗联合分子靶向和免疫治疗的‘高效低毒’新策略，显著提高了肺癌患者的生存率，减少了正常组织并发症，为肺癌治疗的全程精准化提供了有力支持。”团队成员、山东第一医科大学附属肿瘤医院副院长邢力刚介绍。

个体化、精准化治疗，需要全面的医疗数据支持和多学科协作机制。在于金明带领下，山东第一医科大学附属肿瘤医院建立多学科联合诊疗模式，实现对新入院肺癌患者的全覆盖。

“坚持‘面向人民生命健康’，要求我们以临床需求为导向做科研，提升患者的健康水平和生活质量，为健康中国建设作出贡献。”于金明表示，下一步，团队将加强临床研究，建立大型临床试验网络，收集肺癌患者临床、病理等多维度信息，力争早日建成“恶性肿瘤免疫放疗”数据平台，为临床试验提供数据支持，为临床医生提供最新的研究成果、治疗方案和临床指南。