



基础研究如何重塑国家科技竞争力

——中国科学院院士马余刚解读2024年度“中国科学十大进展”

□ 本报记者 李军辉

记者：3月27日，2024年度“中国科学十大进展”在2025中关村论坛正式发布，这些成果代表了我国基础科学研究领域的前沿水平，不少成果还填补了多项国际空白。请您谈谈这些成果具体取得了哪些成就？

马余刚：2024年度“中国科学十大进展”亮点纷呈，在航天、芯片、医药健康、纳米技术、低温物理、免疫治疗、遗传学、量子物理、能源和天文学等多个前沿领域取得了显著成就，具有重要的科学价值和应用前景。具体可以将其归纳为五个大的方面。

宇宙探索获得重大发现，填补了多项国际空白。嫦娥六号返回样品揭示了月球背面28亿年前的火山活动，为月球地质研究提供了直接证据，开启月球研究新阶段。同时，研究发现超大质量黑洞影响宿主星系形成演化的重要证据，揭示中心黑洞主要通过限制气体影响星系演化，为揭开星系生死之谜迈出重要一步。

生命科学研究取得多项成果，为疾病治疗提供理论基础。一是阐明单胺类神经递质转运机制及精神药物调控机理，发现新型低成瘾性药物结合位点，为抗精神药物研发提供结构基础。二是异体CAR-T细胞疗法在自身免疫病治疗中取得显著疗效，国际上首次报道通用型CAR-T细胞成功治疗难治性自身免疫病患者，有望实现细胞治疗产业化。三是遗传学领域研究额外X染色体对男性生殖细胞发育的影响，揭示克氏综合征男性生殖细胞发育缺陷机制，发现抑制TGF-β通路可促进生殖细胞分化，为早期治疗提供新思路。

光电领域取得关键突破，为新一代信息技术发展提供新路径。一是研制通用智能光计算芯片“太极”，实现大规模光神经网络的推理与训练，系统级能效极高，为人工智能和后摩尔时代高速高效计算提供新动力。二是研发原子级特征尺度的纳米激光器，突破光学衍射极限，构建可重构光频相控阵，为物质科学和生命科学提供原子级成像工具，同时具备低能耗、高速调制等特点，有望在信息技术领域广泛应用。

物理科学研究取得前沿发现，有望开辟新的应用领域。一是发现自旋超固态巨磁卡效应，实现极低温固态制冷，为极低温技术提供新途径。二是观察到凝聚态物质中的引力子模，证实了分数量子霍尔效应新的几何描述，有望推动半导体电子系统微观结构探测及拓扑量子计算发展。

能源领域创制高能量转化效率的铜系辐射光伏微纳器件，达到此类电池最高能量转换效率，为微型核电池发展和核废物资源化提供了新思路。

这些进展是中国近年来基础科学研究迅猛发展和科研实力稳步提升的生动体现，不仅展示了中国在多个前沿领域的创新能力，还为推动技术进步和社会发展提供了重要支撑。许多研究成果已经从“跟跑”向“并跑”甚至“领跑”转变，部分领域展现出国际首创性，反映了中国基础研究在持续投入下陆续开花结果，正在从科技大国向科技强国迈进。

记者：您认为这些成果体现了我国基础研究怎样的发展特点和趋势？它们在我国科学发展历程中处于怎样的地位？与国际同类研究相比，这些进展处于一个什么水平？

马余刚：这些科学进展充分体现了我国基础研究多学科交叉融合加速、基础研究与应用研究紧密结合、重大科技基础设施支撑作用凸显以及面向国家重大需求和全球科技前沿的发展特点和趋势。这些研究进展展现了我国基础研究坚持“四个面向”战略方向的显著成效，科学家们在研究上持续向极宏观拓展、向极微观深入、向极端条件迈进、向极综合交叉发力，不断突破人类认知边界，彰显了我国科技工作者勇攀科学高峰的精神与担当，为解决全球性挑战贡献了中国方案。

多学科交叉融合加速。这些成果涵盖了从宇宙探索到生命医学再到信息科学等多个领域，显示了科学研究正朝着多学科交叉融合的方向发展。前沿探索与应用导向并重。科学家们在量子物理、凝聚态物质等领域取得理论突破，同时在人工智能芯片、细胞疗法等应用研究中也取得重要进展，表明我国科研既注重基础理论创新，也不忽视实际应用需求。技术创新驱动。无论是嫦娥六号的成功还是新型光计算芯片的研制，都反映了技术创新在我国科研工作中的核心地位。通过自主创新，我国科学家正在努力缩小与世界领先水平的差距，并在某些领域实现超越。重大科技基础设施支撑作用凸显，如嫦娥六号、冷冻电镜等先进实验装置和重大科技基础设施，为前沿研究提供了重要支撑。面向国家重大需求和全球科技前沿，研究方向既聚焦国家重大需求，如能源、医疗、航天等，又紧跟全球科技前沿，如量子计算、人工智能等。

这些成果在我国科学发展历程中具有标志性地位，是近年来我国基础研究快速发展和科研实力提升的缩影，它们代表了我国在多个前沿领域的创新能力，为我国高水平科技自立自强提供了有力支撑，并为2035年建成世界科技



强国目标奠定了坚实基础。

与国际同类研究相比，这些进展整体处于国际前列，部分领域已进入国际第一梯队，部分成果具有全球首创性。例如，“太极”光计算芯片在能效上比国际先进GPU提升了两个数量级，嫦娥六号的月背采样填补了国际空白。首次观察到引力子模、发现自旋超固态巨磁卡效应等，展现了我国在基础研究领域的国际首创性。同时在技术突破与应用前景方面也处于领先地位，如纳米激光器突破光学衍射极限，为信息技术领域提供了全新工具。

记者：物理科学研究在本次十大进展中取得了重大前沿发现，您作为核物理学家，请谈谈这些成果的重大意义？

马余刚：物理学作为基础性科学，在人类认识和理解自然中扮演着基础作用。当今物理学的发展，通常需要借助于科学家们在实验室中人为创造出达到或接近目前技术极限的单项或综合物理条件的极端条件。这次十大进展中的两项重要突破正是这种依赖的体现。

一是自旋超固态与极低温制冷的突破。科学家首次在固体材料中发现了自旋超固态存在的可靠实验证据。这一突破性研究通过三角晶格阻挫量子磁体实现了超态的磁性对应。超固态是一种在极低温环境下涌现的新奇量子物态，同时具备固体与超流体的双重特性。研究团队还利用自旋超固态的巨磁卡效应，成功实现零下273.056摄氏度的极低温，开辟了无氦-3极低温固体制冷新途径。这一成果不仅解决了固体中是否可能存在超流现象等长期存在的科学难题，还为量子材料固态制冷技术的发展提供了重要支撑，有望在量子科技和空间探测等领域发挥关键作用。二是凝聚态物质中引力子模的实验发现。科学家通过自主设计的极低温强磁场共振非弹性偏振光散射系统，在分数量子霍尔效应中首次观察到了引力子模。这一发现从二维空间角度揭示了度规扰动的量子是自旋2的低能激发，为在凝聚态物质中研究量子引力问题提供了新思路。这不仅验证了分数量子霍尔效应的新几何描述，还为未来拓扑量子计算和半导体电子系统的研究开辟了新的方向。

记者：学科交叉是科技创新的核心驱动力，本次十大进展中的许多成果都体现了这一点。请您谈谈交叉研究如何推动关键领域的突破？跨学科融合对科研组织模式及复合型科研人才培养有何启示？

马余刚：学科交叉在当前科学研究中扮演着越来越重要的角色，通过整合不同学科的方法论与知识体系，促进了突破性创新的发展。以这次十大进展中的铜系辐射光伏微纳器件为例，这一成果正是核物理学（关于铜系同位素衰变控制）、材料科学（设计抗辐射光伏材料）以及电子工程学（能量转换电路的优化）等多学科深度融合的结果，使得能量转化效率较传统技术提高了三倍以上，不仅解决了传统核电池设计中的自吸收问题，还为核废料资源化利用提供了新思路。

这种交叉研究的成功给科研组织至少带来三点重要启示。首先，构建“学科矩阵”管理架构，以“乐高思维”灵活组合学科资源，打破传统院系壁垒，实行PI（首席研究员或项目负责人）跨学科双聘制，促进跨学科团队的形成。其次，设立动态项目池，允许一定比例的经费用于非预设交叉方向的探索，鼓励科研人员尝试跨领域创新。此外，创建新型评价体系，量化跨学科协作效能，建立以创新成果为导向的评价机制，激励科研人员参与交叉研究。最后，在人才培养方面，应鼓励研究生攻读主学科博士学位的同时，辅修相关交叉学科，培养复合型人才；推动高校、研究所与创新型企业合作培养计划，为学生提供多学科背景的导师团队；建立跨学科实验室，为学生和研究人员提供共享的实验平台，促进不同学科间的交流与合作；鼓励和支持青年科学家参与跨学科的研究项目，积累经验，拓宽视野，成为未来能够胜任复杂科研任务的复合型人才。

记者：十大进展中既有“从0到1”的原创成果，也有“从1到100”的技术升级。您认为中国科学界应如何平衡这两类研究的投入？

马余刚：“从0到1”是科技发展的“火

种”，依赖于原始创新的突破；而“从1到100”则是将“火种”扩散为“火炬”的过程，需要产业生态与政策的协同作用，两者如同科技创新的“双腿”，缺一不可。为此，中国科学界应构建一个动态均衡的投入机制，通过“双轮驱动”策略实现基础研究和技术应用的协同发展。

第一，强化基础研究的制度保障。设立非功利性、长周期的资助体系，依托研究型大学、国家实验室、大科学装置等高水平科研平台，为科学家提供“十年磨一剑”的自由探索空间，培育颠覆性原创成果的土壤。基础研究的投入应聚焦于高风险、高回报的领域，避免短期功利化导向。第二，完善应用牵引的转化生态。通过梳理产业需求清单，精准对接技术升级方向，建立风险共担的产学研联合集体，推动技术从实验室走向市场。同时，引入市场资本和产业资源，加速成熟技术的迭代升级，提升技术成果的经济价值。第三，优化科研评价体系。对“从0到1”的研究，应侧重同行评议和颠覆性潜力评估，鼓励大胆探索；对“从1到100”的项目，则需注重技术成熟度、经济价值和市场验证，确保技术转化的可行性和可持续性。

此外，建议逐步提升基础研究投入占比至20%以上，并通过“揭榜挂帅”等机制打通两类研究的转化通道。最终形成“原创突破赋能产业升级、应用反哺基础研究”的创新闭环。这样的一种策略不仅能够保证科学研究在前沿领域的持续探索，同时也能促进科技成果向实际生产力的有效转化。

记者：在科研领域，有观点认为约80%的基础研究成果短期内难以看到直接应用价值，因此质疑对基础研究的大量投入是否值得，主张应减少关注。您如何看待这一观点？

马余刚：基础科学是人类对未知世界的长期投资，其回报往往超出我们的想象。质疑基础研究的价值通常源于对科学创新规律的误解。基础研究本质上是探索未知领域的“火种工程”，为技术革命提供原始驱动力，拓展文明认知边界，并储备应对危机的能力，其价值难以通过短期应用指标来衡量。纵观科技发展史，许多重大技术突破源自最初看似“无用”的基础研究，超过70%的颠覆性技术创新建立在这样的成果之上。例如，爱因斯坦的质能方程是核能应用的基础，而他的相对论虽初期未见直接应用，却是现代GPS技术的基石。量子力学的发展推动了计算机和通信技术的进步；麦克斯韦方程组不仅解释了电磁现象，还催生了无线通信；拓扑学的研究为量子计算奠定了基础。欧洲粒子研究中心的粒子物理研究促成了万维网的诞生，这表明即使短期内看不到直接应用，基础研究最终能带来巨大的实际应用价值，增强国家的长期竞争力。诺贝尔奖得主本华·曼德博的分形几何研究历经30年才转化为石油勘探技术，验证了基础研究“播种—孕育—爆发”的非线性价值规律。

科学发现往往带有偶然性，如青霉素的发现、X射线的发现等。若仅关注有明确应用目标的研究，可能会错过这些“意外的礼物”。因此，创造一个允许科学家自由探索基础研究的环境至关重要，因为这种自由度可能带来意想不到的创新。

基础研究具有隐性的战略价值，其所构建的知识体系构成了国家战略科技力量的根基，孕育着技术突破的可能性，成为学科交叉的枢纽节点，并能培养具备原始创新能力的人才梯队。2023年，中国研发经费中基础研究占比仅为6.3%，远低于美国的15%。因此，中国不应减少投入，还需加大投入。发展壮大耐心资本，稳定支持非共识项目、宽容失败的评价体系来守护科学探索的“黑暗森林”。

历史反复证明，最“无用”的理论往往孕育最伟大的应用。一个国家的基础科学投入本质上是对未来的“认知期权”投资。当我们把80%的“短期无效”成果视为探索的必然成本时，恰恰忽略了那20%的突破可能改写人类文明轨迹。正如费曼所言：“基础科学的真正价值，在于它教会我们如何思考，而不仅仅是思考什么。”唯有保持战略定力，方能在未来科技革命中掌握主动权。

记者：十大进展中多项成果依赖重大科技

设施。您认为我国科研基础设施的建设应如何平衡“集中攻关”与“开放共享”？

马余刚：在我国科研基础设施建设中，“集中攻关”与“开放共享”的平衡，本质上是对国家战略意志与科学共同体活力的协同优化。以嫦娥工程、同步辐射光源等重大科学设施为例，构建一个动态平衡体系至关重要。对于涉及国家安全或具有战略意义的项目（如深空探测、核聚变研究），可以采用类似“两弹一星”的管理模式进行集中攻关。这类设施大约占全部重大科技设施的20%，主要采取的是“集中攻关”模式。然而，对于服务于广大科学共同体的用户设施，则应强调“开放共享”，这类设施应当成为国家重大科技设施的中坚力量，约占80%的比例。

为了实现这一目标，在制度设计上，除了中央政府和地方政府的投资外，在设施开放运行后，可以推行使用权的“混合所有制”改革：国家保持核心设施的所有权，而主要承建单位可享有30%的机时优先使用权，另外20%的机时可以通过市场化拍卖的方式分配给其他有需要的科研团队或机构；制定一套衡量设施开放共享成效的标准，并将其与后续项目的审批挂钩，即建立“设施贡献度”考核体系，这样可以激励设施管理者提高开放程度和服务质量，同时也鼓励优秀用户获得更多使用机会。通过上述措施，我们可以在确保关键领域得到必要资源的同时，最大化地利用科研基础设施的价值，促进科学研究的整体发展和社会经济效益的最大化，这样的策略不仅有助于提升我国在全球科研领域的竞争力，还能推动科学技术的持续创新与发展。

记者：在您看来，我国科学研究在国际上的地位和影响力有何变化？未来如何进一步提升全球竞争力？面对一些技术封锁，我国在关键核心技术上是否已具备足够的自主可控能力作为“护城河”？

马余刚：总体而言，中国科学正处于从“量的积累”向“质的引领”迈进的关键阶段，国际地位呈现“多维跃升”特征。2024年数据显示，我国在《自然》《科学》等顶刊论文占比达24.7%，但原创性指数仅为0.38，表明从“跟跑”向“领跑”转变仍需突破。未来提升全球科学竞争力可从以下方面入手。一是设立基础研究“深水区”突破计划：实施基础研究长周期资助计划，借鉴德国洪堡教职制度，遴选数学、理论物理等基础领域青年学者，给予15年长周期资助；建设“概念验证中心”，借鉴荷兰代尔夫特理工模式，在高校和研究所设立早期技术转化平台，解决“死亡之谷”难题；试点“科研特区”制度，在特定地区设立国际科研飞地，实行设备跨境零关税、数据自由流动的特殊政策。二是重构立体化人才生态：建立“人才旋转门”机制，参考美国DARPA模式，允许科研人员在政府、企业、高校间自由流动，保留编制和待遇连续性；构建“技术移民”通道，对人工智能、量子计算等领域外籍专家发放科技绿卡，并配套税收优惠，这可借鉴新加坡GIP（全球商业投资者计划）项目经验。三是升级创新生态系统：打造“科研亚马逊”平台，集成设备共享、数据交易、专利运营等功能，大力提升公共研发服务平台的规模性和开放性；建设“科学城市群”，以北京怀柔、上海张江、合肥滨湖等为核心，形成“基础研究—应用开发—产业化”地理链条闭环。

在关键核心技术方面，我国在量子信息领域从量子卫星“墨子号”到量子计算机“九章”系列实现了全链条布局，专利族数量全球第一，占比38%。北斗导航系统的第三代系统定位精度达到了厘米级，137个国家接入了该服务，芯片国产化率达到了100%，这些领域已实现体系化布局。然而，在芯片制造上虽然28纳米制程已实现国产化，但EUV光刻机仍需依赖进口；工业软件中的CAE软件市场占有率从2018年的5%提升至2024年的17%，但高端CAD软件仍仅有90%依赖进口；生物医疗设备方面，尽管PD-1单抗的研发处于全球领先地位，但质谱仪、基因测序仪等设备的进口依赖度超过了80%，在这些领域仍然面临着“卡脖子”的问题。

真正形成自己的“护城河”，不仅在于打

破技术壁垒，更在于持续产生原创思想的能力。面对国际竞争，需采取“硬科技突围+软实力塑造”的双轮驱动策略，既要攻克光刻机、航空发动机等“看得见的堡垒”，更要培育诺奖级原创成果、顶尖科学期刊等“看不见的根基”。当中国能够持续输出改变人类认知范式的科学发现时，才是全球科技格局根本性重构的开始。

记者：您的相关成果两次入选“中国科学十大进展”，请您分享一些相关科研经验，以激励和启发青年科研工作者。

马余刚：通过积极参与重大国际合作，发挥主观能动性和原创性思考，我们在反物质原子核研究上取得了系列重要进展。我们的两项成果——“相对论重离子对撞机上发现首个反超核粒子——反超氦核”和“实现对反物质间相互作用力的测量”，分别入选了2010年度和2015年度“中国科学十大进展”。这些研究让我们深刻体会到，研究关键在于拥有原创性的想法并选定重要的研究方向。有时，选择避开热门课题，转而探索相对冷门但基础性强问题同样重要。例如，在当时多数合作组成员专注于高温高密度夸克—胶子等离子体性质时，我们选择了反物质领域的研究，这是一个鲜有人涉足却极具潜力的方向。

确定方向后，我们从粒子不变质量的高精度重构入手，发展了如背景扣除技术等新方法，从而在复杂的粒子环境中识别出稀有的短寿命粒子。现实科研条件的考量也不可忽视。当我们在2011年发现了质量数为4的反氦4粒子后，意识到在RHIC能区，每增加一个反核子，反物质原子核的产额会呈现上千倍的下降，若要寻找更重的反物质原子核几乎不可能实现，因此转向反物质原子核特性研究，这直接促成了2015年的重大突破。学科间的贯通也至关重要。我们将低能核物理中的质子—质子动量关联方法应用于高能核物理中的反质子—反质子动量关联测量中，成功测量了反质子间的相互作用参数。

大科学的国际国内合作对于推动科学研究非常重要。基础研究成果是全人类共有的财富，开放、合作与共享仍是主旋律。例如，被誉为“科学奥斯卡奖”的“科学突破奖”之“基础物理学突破奖”，今年授予了参与欧洲核子研究中心大型强子对撞机四个实验组的合作成员们，这充分说明了国际合作在推动基础科学研究方面的重要性。

青年科研工作者应勇于探索潜在领域，培养独立判断力，注重技术创新以突破瓶颈，保持敏锐的观察力，灵活调整研究策略，避免资源浪费，积极参与国际合作，融入全球科研网络。同时，培养跨学科思维，善于借鉴其他领域的技术和思路。

记者：基础研究的许多成果看似与公众的生产生活距离较远。如何提升公众对基础研究的关注和支持？科学家在科学传播中应承担什么责任？

马余刚：在科学传播中，基础研究与公众认知之间确实存在一定的错位现象，这可以归因于几个方面。首先，时间维度上的错位。基础研究平均成果转化周期长达几十年，远超商业投资周期，容易导致公众误判其“无用性”。其次，价值传递上的断层。科研机构常使用定量的论文影响因子和引用数等专业指标，与公众关心的民生需求存在表述鸿沟。此外，媒体传播的异化加剧了这一问题。科学新闻要么过度简化为“趣味小知识”，要么夸大“诺贝尔奖级别的突破”，这种两极化的报道方式破坏了科学认知的连续性。

因此，在科学传播中，科学家应充当“科学翻译者”的角色，将看似遥远的基礎研究与人类文明的发展编织成一个易于理解的意义网络。一是构建“技术族谱”，通过重构叙事方式展示基础研究如何转化为民生应用。例如，将核物理的进步与医疗成像技术结合起来宣传，把粒子加速器的同步辐射和散裂中子源技术与文物鉴定和航空发动机检测结合起来。解释“超固态”时，可将其量子特性与未来量子计算机效能提升相联系，这样能更直观地呈现科学研究的实际价值。二是设计“时空隧道”，利用虚拟现实技术重现未来的技术发展景象。三是培育“共情实验”，积极推广参与式科学传播，如开放实验室、建立科普基地，让公众亲身体验科研过程和科技带来的奇妙感受。正如费曼用橡皮环演示量子自旋那样，真正的科学传播应该激发公众对未知的敬畏与探索的勇气。

院士访谈