

特写

## 中国量子：超越经典 领跑世界

本报记者 余惠敏 见习记者 郭静原



图①实验室内，陈宇翔向记者介绍基于超冷原子光晶格的量子模拟。图②以潘建伟为核心的量子信息研究团队。图③超导量子芯片。

图④中科大博士生正在量子物理与量子信息实验室中做实验。

余惠敏 郭静原摄

2015年度的国家自然科学一等奖，颁发给了由潘建伟、彭承志、陈宇翔、陆朝阳、陈增兵组成的中国科学技术大学多光子纠缠及干涉度量研究团队——他们凭借在多光子纠缠及干涉度量上的重要研究和发现，取得了量子通信、量子计算等领域的系统性关键突破。

对这个在量子科学研究前沿中屹立于世界领先地位的团队来说，他们的获奖实至名归。

潘建伟如何带领他的团队突破量子信息研究的重重难关？请看《经济日报》记者的报道。

## 不可思议的量子信息科学

还有什么比量子力学更为神奇？在这个物理框架内，包含了太多不可思议的现象：从微观世界判定薛定谔的猫是既死又活，到相隔千里的粒子可以瞬间相互影响……量子力学的研究结果往往是颠覆性的，因为它们总与人们的习惯思维背道而驰。

1935年，爱因斯坦指出，量子纠缠所体现的量子力学非定域性与作为经典物理学基本观念的定域实在论之间存在根本矛盾。定域实在论认为，处于类空间隔的两个事件相互不会产生任何影响，然而量子力学非定域性预言，处于量子纠缠的两个粒子，无论相距多么遥远，对其中一个粒子的测量会瞬间改变另一个粒子的量子状态，爱因斯坦把这一现象称为“遥远地点之间的诡异互动”。

“所谓的诡异互动就是理论上说的‘纠缠’，好比两人相处两地，各执一枚骰子，当这两枚骰子处于纠缠态时，两人将骰子抛出，最后两边得出的结果将完全一样。”潘建伟用形象的比喻向记者说明量子纠缠的基本原理。

量子科学会带来哪些神奇的应用？在网络信息安全方面，量子通信克服了经典加密技术内在的安全隐患，是迄今唯一被严格证明是无条件安全的通信方式，可以从根本上解决国防、金融、政务、能源、商业等领域的信息安全问题。

求解一个亿亿变量的线性方程组，利用目前世界上最快的天河二号超级计算机需要100年，而利用计算频率还低一万倍的THz量子计算机，只需0.01秒。量子计算将带来现有计算能力的质的飞跃，为密码分析、气象预报、石油勘探、药物设计等所需的大规模计算难题提供解决方案；并通过其强大的模拟能力，揭示高温超导、量子霍尔效应等复杂物理机制，为先进材料制造和新能源开发奠定科学基础。

量子精密测量可实现对重力、时间、位置等的超高灵敏度测量，大幅提升卫星导航、潜艇定位、医学检测、引力波探测等的准确性和精度。比如，一条潜艇，使用目前最好的经典加速度计来自主导航，航行100天后误差达到200公里，就不得不借助卫星修正位置，但这也意味着暴露行踪的可能；如果利用量子导航仪（原子加速度计）进行测量，航行100天后的位置测量误差小于1公里，潜艇可以不需要借助卫星导航，进行长期潜伏。

前赴后继的科研工作者们在量子力学逾百年的研究基础上，逐渐掌握了对量子状态进行主动调控的能力，从而开辟出量子信息科技——包括量子通信、量子计算和量子精密测量等，可以突破经典技术的极限，满足信息和物质科学技术的革新诉求。

近20年来，量子调控与量子信息领域共产生了10余名诺贝尔物理学奖和沃尔夫物理学奖获得者，量子信息科学已然成为当代物理学最活跃的研究前沿之一。

## 硕果累累的量子领域突破

1970年出生的潘建伟是一名“海归”。在中国科大读完硕博后，他去奥地利攻读博士学位，学习当时国际上最先进的量子物理实验技术。2001年他学成回到母校，组建了量子物理和量子信息实验室。

那时，多光子纠缠操纵存在巨大的实验挑战，国际上仍处于对单量子粒子体系和两光子纠缠的研究水平，多光子纠缠的实验制备和操纵几乎空白。“长期以来，我国基础科技研发大多是对国外成果的模仿与跟踪，而我们决心让中国量子信息技术做到全世界最好”。潘建伟说。

他领导的项目组发展了一系列关键技术，2003年在国际上首次实现了多体纠缠性质被严格验证的四光子纠缠态，之后又通过验证GHZ定理以最强烈的方式揭示出量子力学与定域实在论之间的矛盾。

此后，团队先后于2004年、2007年和2012年在国际上首次实现了五光子、六光子及八光子的纠缠，在多光子纠缠操纵实验研究上不断刷新世界纪录，并始终保持国际领先地位。

多光子纠缠操纵是量子信息处理的基础，基础的突破自然会带来应用的突

破。正如2012年诺贝尔物理学奖获得者瓦恩兰指出，“纠缠粒子数越多，量子力学非定域性越强烈，对量子信息处理也越有用”。

在量子通信方面，2007年，项目组利用诱骗态方法，克服了现实条件下光源不完备带来的安全隐患，在国际上首次实现安全通信距离超过100公里的光纤量子密钥分发，从而开启了量子通信技术实用化的大门。

随着国际上首个全通型量子通信网络、首个规模化城域量子通信网络相继于2008年和2012年建成，中国量子通信技术已逐步走向实用化。潘建伟团队利用自主研发的量子通信装备，为60周年国庆阅兵、党的十八大、抗战胜利70周年阅兵等国家重要政治活动提供了信息安全保障。

“这标志着中国在量子通信领域的崛起，从10年前不起眼的国家发展成为现在的世界劲旅，将领先于欧洲和北美……”英国《自然》杂志曾如此称赞道。

恰似“星际迷航”般的量子隐形传态则更显神奇。利用量子纠缠，量子隐形传态可以将物质的未知量子态精确传送到遥远地点。

多体、多终端、多自由度的量子隐形传态是实现分布式量子网络的基本单元。利用五光子纠缠，2004年项目组首次实现了终端开放的、多接收用户的量子隐形传态；利用六光子纠缠，2006年首次实现了两粒子复合系统的量子隐形传态；2015年，又首次实现了多个自由度的量子隐形传态。这一工作在不久前入选英国物理学会评选的“2015年度国际物理学领域的十项重大突破”，并列榜首。

量子计算方面的最大挑战是克服各种环境噪声和比特错误，实现可容错的普适量子纠错，潘建伟团队突破了这一难题。他们基于国际领先的多光子纠缠操纵技术，在国际上率先实现了绍尔算法、拓扑量子纠错、快速求解线性方程组算法、量子机器学习等几乎所有重要量子算法的验证。

“我们仍在往上走的阶段，还没到顶峰。回国之后，国家经济综合实力增强，让科学工作者们有了用武之地，国外的同行也非常羡慕我们的科研环境。目前，咱们的科研工作就好像哪里啪啦的从树上掉果子，正处于全面收获的阶段。未来，中国量子科学研究的不断突破将成为一种常态。”潘建伟说。

## 令人期待的中国量子未来

量子信息的物理基础和应用技术研究对保障国家信息安全和下一代信息产业有着深远影响，已经成为世界主要发达国家优先发展的科技高地。

“过去，我国科学家们秉承家国情怀，为中国国防科技事业发展作出了巨大贡献，保证了国家的和平发展环境；现在，科技工作者要坚持在基础科学领域不断创新，让更多民众享受科技红利的回报，为国家谋取直接经济利润。”潘建伟说。

中国科大主持的远距离量子通信骨干网“京沪干线”项目正在建设之中，将建设连接北京、上海，贯穿济南、合肥等地的千公里级高可信、可扩展、军民融合的城际量子通信网络，预计2016年下半年建成。

此外，由潘建伟团队牵头组织的中科院战略先导专项“量子科学实验卫星”也预计于2016年下半年发射，将在国际上率先建成高速的星地量子通信

网络，通过卫星中转实现远距离量子纠缠分发和量子隐形传态，从空间尺度上为未来千公里级量子通信奠定坚实的基础。

“今后，我们将集合通过光纤实现的城域量子通信网络、通过中继器连接的城际量子网络和通过卫星中转实现的远距离量子通信，全面构建广域量子通信网络。相信在前多光子纠缠干涉度量学成果的支持下，再经过10年左右的时间就能够达到目标。”潘建伟说。

彭承志在介绍量子科学实验卫星项目时说，最开始虽然只有单颗实验卫星，但科学实验完成后将逐步组建星群，结合国家未来的空间站计划，实现多颗卫星的量子通信组网，并开展与意大利、加拿大、奥地利地面站的合作连接，为形成全球化的量子通信网络，维护全人类的信息安全而奋斗。

在可扩展的量子计算与模拟、量子精密测量方面，团队将继续在光与冷

原子系统、超导系统中发展多粒子纠缠操纵技术，希望在未来10年，实现上百个量子比特的纠缠，使得量子计算处理某些特定问题时的能力大大超越目前的经典超级计算机，并且也将有效降低能耗。

同时，在量子计算研究过程中发展起来的高精度精密测量手段，还将应用于自主导航、医学检验、引力波探测等领域。

潘建伟表示，一个天地一体的全球化量子通信基础设施构建成功后，能为未来的互联网提供基于量子通信技术的安全保障，形成完整的量子通信产业链和下一代国家主权信息安全生态系统。

“随着中国科技的迅猛发展，量子通信将在不到10年的时间里辐射千家万户。期盼在我有生之年，能亲眼目睹以量子计算为终端、以量子通信为安全保障的量子互联网的诞生。我相信中国科学家们能做到。”潘建伟说。

对很多人来说，量子力学神奇的外衣下，包裹的是深奥难懂的基础科学知识；而对潘建伟带领下的多光子纠缠及干涉度量团队的科研人员来说，量子就是他们生活的重心。他们勤奋、执著，矢志不渝探求科学真理；他们团结、齐心，科研之花结出硕果累累。

中国

亦师

本报记者

余惠敏

见习记者

郭静原

至诚

2015年12月末，记者在潘建伟院士的带领下，经过风道除尘，进入位于中国科学技术大学的实验室，近距离接触这支中国最优秀的量子信息研究团队。

实验室里紧凑地摆放着复杂、精密的研究仪器，实验室一角的黑板上满是密密麻麻的计算公式，伴着仪器运行中响起的发动声，实验人员正细致有序地开展科研工作。

“衷心希望实验室能像百年老店一样，有层出不穷的科学发现，有源源不断的人才引进，持续为国家的科技创新作出贡献。”潘建伟说。

中国科大潘建伟团队的这块“金字招牌”得来不易。

“量子信息在国内发展初期时，面临人才短缺，只有鼓励大家去国外求学，通过实现对外沟通与交流，才能把先进的知识和技术带回来。”潘建伟说。

实验室建成后的10多年间，由潘建伟安排，分赴英国、美国、瑞士、奥地利等高水平国际小组中锻炼的不同学科背景的年轻人，在学成后陆续回国，不断更新团队力量。

在这些年轻人中，通过“青年千人计划”和“百人计划”引进的就有8人，涉及光学、电子学、冷原子物理等领域，形成知识和技术互补的多学科人才队伍，整体提升实验室实力。

“实验室的准入考核是比较宽松的，主要依靠各位专家的判断。我更愿意邀请一些乐于和他人协同合作的人才加入，他们的品德很重要。”潘建伟说，“当然，团队也允许一些不食人间烟火的‘怪才’的存在，很多科学家的性格就像孩子一样，但在科学领域有执着追求”。

成员们回国时大多都是30岁出头，此时的创新意识最为高涨。

彭承志谈起做科研，“找准方向是关键”。他认为，科研队伍组建后，要多与国内外优秀的科研小组进行沟通交流，在实验中配合先进技术的支撑，才能更好地开展研究。

“不管在什么时候，不管在哪里，勤奋都是极为重要的。我们的实验室里，半夜里12点前离开就意味着早退，自己会因此内疚。同时，新来的学生看到周围的前辈都在专注工作，也能将这种严谨的风气进行传承，继续带动他人。”研究员陈宇翔说。

团队里人才辈出，也不时迸发出学术论“剑”时激烈碰撞的火花。

对于彭承志、陈宇翔和陆朝阳来说，潘建伟曾是给他们授业解惑的老师。如今这支成熟的量子研发团队频频佳绩，大家都习惯在出去散步的路上，围绕着项目“不留情面”地展开论争。

“我热爱科学，正因为科学是平等的，只要哪一方的见解是对的，就应该朝着正确的一方继续探索。”潘建伟说。

“当初我们操作光子纠缠，陈宇翔告诉我一种进行波片组合的方式，我一直认为不可能，但他把计算结果发给我后，证实确实可行，那就按他的来。”潘建伟表示，团队在学术上完全自由，“我随时接受大家的挑战，改变自己的主意”。

由陈宇翔作为总工程师的远距离量子通信骨干网“京沪干线”项目，将于今年下半年正式竣工；负责“量子科学实验卫星”项目科学应用系统的彭承志将与合作单位一路肩负起卫星逾半年后升空的重任；陆朝阳也立下承诺，将在3至5年内，把多光子纠缠扩展到25个粒子，使量子计算处理特定问题的能力与目前最好的商用CPU水平相媲美。

中国科大科研部副部长朱霁平表示：“这支团队之所以能取得成功，是与团队成员之间亦师亦友、至诚至真的合作氛围分不开的。中国科大还将坚持科教结合培养创新人才的办学模式，鼓励学生既有坚实的理论知识基础，又有较强的动手能力，更重要的是还具有团队协作精神。”

相信今后还将有更多有志青年，接力走进这个不可思议的量子世界，把不可能变为可能。