

大力构建保密通信干线 筹划发射新型通信卫星

中国“量子通信”书写传奇

本报记者 彭训文

在2015年国家科学技术奖励大会上，一支由中国科技大学的“70后”院士、“80后”教授组成的“青春战队”格外引人注目。他们在中科院院士潘建伟带领下，凭借“多光子纠缠和干涉度量学”，奋力摘得国家自然科学一等奖。他们所研究的光子，是量子的一种。

量子是一个能量的最小单位，所有微观粒子如分子、原子、电子、光子等都是量子的一种表现形式。

我们看到的，就是由数以万亿计的光量子组成的。研究量子有什么用？用处很多，比如：利用量子纠缠，我们的通信将能实现绝对安全，让“棱镜门”等泄密事件从此作古；若制造出100个量子纠缠的量子计算机，其计算速度将比目前最快的超级计算机“天河二号”还快百亿亿倍。更神奇的是，利用量子隐形传态，未来人类往返世界各地，甚至进行星际旅行，需要的时间也仅仅是“嗖”的一下。

压题图：被认为与量子纠缠密切相关的宇宙虫洞想象图

事实上，中国的量子通信技术已达到世界顶尖水平，领先欧美国家。今年，世界上第一条量子通信保密干线“京沪干线”将开通。同时，由中国科学家自主研发的世界首颗“量子科学实验卫星”也发射在即。潘建伟在接受采访时表示，我国正以这两大工程构建一个天地一体化的量子通信网络雏形，最终目标是建立一个覆盖全国甚至覆盖全球的广域量子保密通讯网络。

教育改革须啃硬骨头

熊丙奇

2015年，是“十二五”的收官之年，也是国家教育规划纲要实施的第五年。按照纲要设定的面向2020年的教育改革和发展目标，2015年也是对教育改革进行“中期检查”的年份。因此，分析这一年的教育改革情况，对我国教育改革的进一步推进，有着十分重要的作用。

在笔者看来，2015年的中国教育改革，按照国家教育规划纲要的既定改革目标实现了稳步推进，但在关键领域还缺乏实质突破，改革受现实利益因素影响还存在诸多局限。

比如高考改革，虽然按照2014年国家颁布的高考改革实施意见，我国率先进行高考改革的浙江省和上海市，到2017年才有第一届新高考的毕业生，可是，国家确定的一些高考改革措施，诸如大幅减少高考加分项目和项目、将自主招生调整到高考之后、部分地区减少高考录取批次等，在2015年已经开始实施。而上海高三学生，在2015年高考中，有一半报考了改革之后的春季高考，浙江高二学生，已在2015年进行科目选择，并参加了第一次统考、等级考。总体来说，高考改革给学生带来了更大选择权，但是，还有必要在录取制度上进行进一步改革。只有打破按计划集中录取的方式，才能实现高考改革所期望的推进基础教育摆脱应试教育，以及促进大学科学选材的价值。

建设世界一流大学，情况类似。2015年，我国大学在世界大学排名上的表现很优异，名次提升不少。国家也推出了统筹推进世界一流大学的总体方案，以加快建设世界一流大学的步伐，这被舆论称为是我国建设世界一流大学的2.0版。根据新的总体建设方案，我国将在建设世界一流大学过程中引入竞争机制，解决此前在985、211工程建设中存在的身份固化、竞争不足的问题。这看准了问题，但要把大学的活力释放出来，还取决于政府部门进一步放权，推进教育管理体制和现代大学制度建设。按照教育管办评分离改革的要求，我国最近几年来一直在推进教育放权，包括取消国家重点学科评审、不再对大学设立研究生院进行审批等，这迈出了放权的重要步伐，接下来，还需要推进涉及核心领域的权力下放，尤其是人事权和财权。

在2015年岁末，教育部决定取消民办高校校长人选审批，这是一个进步，但还应该继续在落实和扩大学校办学自主权方面，加快步伐。在义务教育领域，公众最关注的话题，莫过于择校热。教育部在2015年要求19个大城市做到公办小学100%就近免试入学，初中90%划片对口入学，并准备在此基础上，把“划片入学”推广到全国。从技术手段分析，实行“划片入学”，确实可以提高就近入学比例，但是，要说这能从根本上治理择校热，则是不顾现实的虚夸。在实行多校划片入学之后，不少地区出现了“学区房”热，这是由于学区和学区之间，存在办学质量和条件

猫如何既是死的又是活的？

要说清楚量子通信的宏伟蓝图，我们还得从量子力学讲起。这是一个与牛顿力学等经典力学差异很大的物理学分支，被誉为迄今为止描述微观世界最准确的理论。

量子是什么？通俗地解释就是把能量等物理量一份份往下分，分到无法再分的小块儿，这个小块就是量子。如氢原子中电子的能量只能取一个基本值——13.6电子伏特或者其1/4、1/9、1/16、1/25等，而不能取其2倍或1/2、1/3。这就好比上台阶，只能上一个台阶，而不能上半个。

量子力学和经典力学的根本区别在于确定性问题。与我们常识里的事物具有确定的位置相反，量子力学中的粒子状态是不确定的，而且是一种客观真实的状态。这种状态有两个基本原理。一个是量子态叠加原理。根据量子力学理论，物质在微观尺度上存在两种完全相反状态并存的奇特状况。如何来证明这种原理呢？奥地利物理学家薛定谔在1935年提出的“薛定谔猫”佯谬提供了一种思路。

“薛定谔猫”佯谬假设了这样一种情况：将一只猫关在装有少量镭和氰化物的密闭容器里。镭的衰变存在几率，如果镭

发生衰变，会触发机关打碎装有氰化物的瓶子，猫就会死；如果镭不发生衰变，猫就存活。根据量子力学理论，由于放射性的镭处于衰变和没有衰变两种状态的叠加，猫就理应处于死猫和活猫的叠加状态。

这只既死又活的猫就是量子物理学著名的“薛定谔猫”。如果把量子叠加原理合到多个量子的情况会是什么呢？这就是量子力学的另一个基本原理——爱因斯坦称为“遥远距离诡异的相互作用”的量子纠缠。就像双胞胎心灵感应一样，这两颗骰子无论相距多远，掷出来的结果始终是一样的（当然，爱因斯坦坚持称“上帝不会掷骰子”）。

我们再以“薛定谔猫”来解释：整个状态现在处于镭是否发生衰变和猫是死是活的叠加状态，用一个等式来表示就是：整体状态=镭发生衰变而且猫死了(A)+镭没有发生衰变而且猫活着(B)。当你打开容器盖子观看猫是不是死了的那一刻，整个状态就被确定了，要么是A，要么是B，而且另一种状态也跟着消失了。这就是量子的纠缠态。在量子世界中，处于纠缠态的两个粒子不论分开多远，如果对其中一个粒子作用，另一个粒子就会立即发生相应变化，而且不受时空限制，是瞬时变化。

绝对不会被破译的通信

如此神秘的量子叠加原理和量子纠缠，我们到底能拿它来做些什么呢？一个已经被潘建伟团队研究得很成熟的应用是量子保密通讯。

现在被认为最安全的信息传递方式是光纤通讯。光缆能把所有的光能限制在光纤里，外面得不到能量，所以这个传输被认为是安全的。但随着科技发展，只需让光缆泄露哪怕很少一部分能量，我们就能够窃听光缆传递的信号。潘建伟解释说，这是因为经典通信的信号只有0和1，发生窃听时，这两种信号不会被扰动。如两人打电话时，他人可通过窃听器，从通信线路中的上千万个电子中分出一些电子，使其进入另一根线路，从而实现窃听，而通话者无法察觉。

量子通信则完全不会出现这个问题。除了因为量子信号有0、1、0+1、0-1等量子叠加态，还因为量子由这种叠加态而产生的不可克隆原理。根据量子力学理论，对任意一个未知的量子态进行完全相同的复制的过程是不可实现的。也就是说，量子信号一旦被窃听，量子叠加态就会受到扰动，有可能“塌缩”成另一个量子态。这样一来，通信双方能立即察觉。

这个方式到底有多安全呢？中科院量子信息与量子科技前沿卓越创新中心成员、中国科学技术大学上海研究院副研究员张文卓表示，“只要因果性成立，只要信息传递不超过光速，时间不逆转，比如我们回不到过去，这个通信方式就是无条件安全的”。

当然，量子应用还有更大的前景。首先一个应用是计算机运算能力的飞跃。现在计算机的运算单位比只有0和1这两种状态，但量子计算机中可以处在0和1的叠加态上。如果操纵的量子数目增多，它就会以指数级增长来提升计算机的运算速度。例如，如果操纵25个量子，计算机的能力就能达到现有四核计算机的水平；如果操纵50个量子，现在世界上最快的计算机——“天河二号”的计算能力就赶不上了；如果操纵100个量子，其计算能力可能比“天河二号”还快百亿亿倍。

这么快的运算速度，将使我们的日常生活大大改变。例如在公共安全领域，量子计算可以瞬间处理监控数据库中60亿人次的脸部图片，并实时辨别出一个人的身份；在公共交通领域，量子计算能够迅速对复杂的交通状况进行分析预判，从而调度综合交通系统最大限度避免道路拥堵；在气象预测方面，量子计算能够将仪器检测数据结合模型全面预测分析，从而实现更高精度的天气预报……

我国量子通信迈向天地组网

目前，量子保密通信技术已经从实验室演示走向产业化和实用化，正朝着高速率、远距离、网络化的方向快速发展。然而，要实际应用量子通信，主要困难是长距离传输过程中会出现信号损耗。这方面，世界上现今一个比较公认的路线图是先利用光纤在城市内构建一个网络，然后利用中继连接城市间，再通过卫星的中转实现远距离的量子通讯。

20多年来，潘建伟等中国科学家从研制量子通信网络终端设备、微光探测核心器件、网控设备等一个个产品做起，从几十公里光纤量子密钥分发到自由空间纠缠光子分发，从实现对单光子的精确操纵到实现四光子(2003年)、五光子(2004年)、六光子(2007年)、八光子纠缠(2012年)……英国《自然》杂志感叹说，“这标志着中国在量子通信领域的崛起，从十年前不起眼的国家发展为现在的世界劲旅，将领先于欧洲和北美。”正是基于这些技术积累，2013年，我国量子保密通信“京沪干线”项目获国家发展改革委批复立项。根据方案，北京、上海、合肥、济南都将分别建成城域量子通信网，一旦完成城市间线路的接通，就可以实现京沪间全长2025公里、4城市间网状8Gbps的量子保密通信。

合肥示范网46个、济南90多个节点已顺利建成并开始测试，北京、上海城域量子通信网将在今年夏天前建成，整个“京沪干线”将于今年开通。专家预计，2025—2030年，覆盖全国的量子通信网络也有望建成。另一方面，为实现高速星地量子通信并连接地面的城域量子通信网络，我国首颗量子科学实验卫星也将在今年发射。

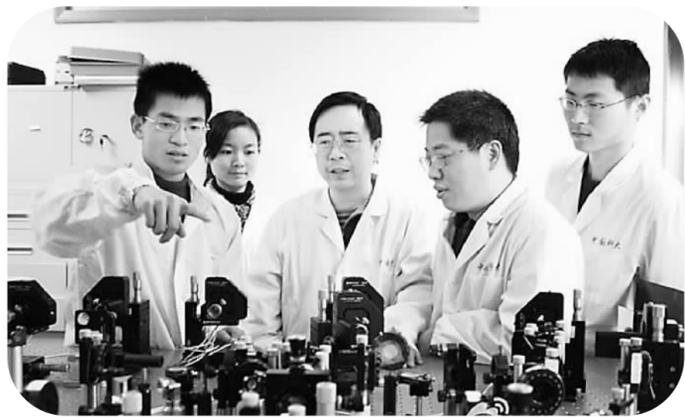
量子科学实验卫星工程常务副总师、中科院上海分院副院长王建宇表示，卫星旨在开展卫星与地面之间绝对安全的高速量子密钥分发实验，通过高精度的捕获和跟踪系统，建立超远距离的量子信道，并在此基础上进行广域量子通信网络的演示。这将是国际上首次星地间量子通信实验。如果实验成功，我国有望在未来发射多颗量子通信卫星，逐步建立覆盖全球的量子通信网络。

可以期待，在不久的将来，我们就可以享受量子通信一次一密、完全随机带来的巨大红利。去年10月，阿里云与中科院旗下国盾量子联合发布量子加密通信产品，这是全球首家云服务商提供量子安全传输产品落地服务。

阿里巴巴集团首席技术官王坚表示，“以前我们在科学技术发展方面总是处于追赶者位置，向世界去寻求答案，但这次，我们有机会给世界一个提问的机会。”



星地间量子通信示意图



潘建伟(中)和他的研究团队

链接：

世界主要国家和地区量子通信战略

欧盟 于2008年发布《量子信息处理与通信战略报告》，提出了欧洲量子通信的分阶段发展目标，包括实现地面量子通信网络、星地量子通信、空地一体的千公里级量子通信网络等。2008年9月，欧盟发布了关于量子密码的商业白皮书，启动量子通信技术标准化研究，并联合了来自12个欧盟国家的41个伙伴小组成立了“基于量子密码的安全通信”工程。同年，该工程在维也纳现场演示了一个基于商业网络的包含6个节点的量子通信网络。同时，欧空局正在与来自欧洲、美洲、澳大利亚和日本的多国科学家团队合作开展空间量子实验。

美国 国防部支持的“高级研究与发展活动”计划致力于把量子通信应用拓展到卫星通信、城域以及远距离光纤网络。国防部高级研究计划署和洛斯阿拉莫斯国家实验室于2009年分别建成了两个多节点量子通信互联网络，并与空军合作进行了基于飞机平台的自由空间量子通信研究。资料显示，美国航空航天局计划在其总部与喷气推进实验室之间建立一个直线距离600公里、光纤皮长1000公里左右的包含10个骨干节点的远距离光纤量子通信干线，并计划拓展到星地量子通信。

日本 目前年投入2亿美元，规划在5至10年内建成全国性的高速量子通信网。日本的国家情报通信研究机构也启动了一个长期支持计划。日本国立信息通信研究院计划在2020年实现量子中继，到2040年建成极容量、无条件安全的广域光纤与自由空间量子通信网络。2010年，日本东京建成了6节点城域量子通信网络“Tokyo QKD Network”，在全网演示了视频通话，并演示了网络监控。



的差异，这种差异不缩小，择校热就很难缓解，只不过从择具体的学校，演变为择某一个学区。治理择校热，不能只治标不治本。要求适龄学生就近入学，只是治标，而治本之策则是转变义务教育资源配置模式，以均衡为首要原则，配置学校资源，提高薄弱学校的办学质量。而在促进义务教育均衡方面，2015年最重要措施，莫过于统一城乡义务教育经费标准，以及提出学费随学生走的新政策。这可让所有义务教育阶段的学生享有同等免除学杂费、书本费的权利，同时有利于解决随迁子女的城市入学问题。

然而，必须意识到，这只是缩小城乡学校办学条件的一部分。我国城乡义务教育最大的差距，在于师资待遇，而缩小师资待遇差距，甚至让乡村学校的教师收入高于城市地区，才是最有力的推进义务教育均衡的举措。要做到这一点，需要更大程度强化省级财政对义务教育经费的统筹，并加大中央财政转移支付力度。而事实上，如果没有省级财政统筹和中央财政更大力度的转移支付，我国统一城乡义务教育经费标准，学费随经费走，也很难实现。

2016年，是“十三五”规划的开局之年。我国教育改革和其他改革一样，再往前走，都是必须啃硬骨头的改革，涉及教育权力和利益的调整，这需要有更大的改革勇气，同时要探索建立新的改革机制。从改革效率看，由教育行政部门主导改革，效率是比较高的，但从改革逻辑分析，要调整教育权力和利益，不能仅由目前的教育行政部门主导改革，而必须把教育行政部门也作为改革对象，要求其转变职能，放权给学校，服务学校自主办学。这就需要新的改革机制与之配套。要把教育改革纳入立法程序，由全国人大或地方人大立法进行教育改革。这一方面可以把各方意见呈现在审议、决策中，使改革的顶层设计更科学、合理；另一方面，可促使教育行政部门依法放权，推动改革实现实质性突破。2015年，全国人大启动了对教育法律的一揽子修订审议，并颁布了新修订的《教育法》《高等教育法》，这就为改革提供了法律保障，有利于改革顺利推进。

(作者系21世纪教育研究院副院长)