



2025年10月20日 星期一

把量子技术“种”进海洋

——对话我国海洋量子技术倡导者、中国海洋大学教授顾永建

(上接第一版)

顾永建：1974年，我还是个10岁的孩子，偶然在收音机里听到北京人民广播电台的“业余英语广播讲座”，讲课的老师们一口标准的牛津口音，一下子就把我吸引住了。那时候没有电视，我就攒钱买了配套教材，跟着收音机一句句学，为后来的学术之路打下了语言基础——多年后考中科大博士时，满篇GRE词汇的英语试卷我考了70多分，后来阅读时，几乎没“遇到”生单词，这都是当年听广播练出来的“童子功”。

1981年考大学时，“学好数理化，走遍天下都不怕”是社会共识，北大物理系更是号称“中华第一系”，全国的状元都往这儿汇聚。我当时没多想，就觉得“物理是最能解释世界本质的学科”，以山东省高考第三名的成绩，揣着录取通知书就去了北京。不过那时候的物理教育还是偏向传统方向，量子力学对我来说，也只是课本上一堆抽象的公式。

后来，我又在天津大学完成了硕士学业，对量子光学领域的了解更深入了一步。但真正与量子结缘，始于我读到了郭光灿院士的名著《量子光学》。这本书堪称我国量子光学领域的奠基之作，书里把微观粒子的运动规律讲得既透彻又生动，也让我突然意识到，原来量子不只是理论，还能变成解决实际问题的工具。我当即给郭院士写信，申请去中科大做了访问学者。

访问学者结束，已经有稳定工作的我做了一个“冒险”的决定：考去中科大读全日制博士。也就在读博期间，我真正走进了量子世界——原来电子可以“同时在两个地方”、光子能像“双胞胎”一样远距离纠缠，这些看似违背常识的现象，恰恰是量子技术的魅力所在。

记者：量子力学“反常识”的特性，让很多人感到晦涩难懂。您能不能用一个简单的比喻，让普通人也能理解“量子”是什么？

顾永建：其实量子就像“微观世界的小精灵”，它的行为规则和我们熟悉的宏观世界中的行为规则完全不一样。比如我们说“一个杯子”，它要么在桌子上，要么在地面上，不可能“又在桌上又在地面上”。但量子世界里的电子，它可以同时出现在多个位置，这就是量子叠加态。

要理解量子，首先要理解“比特”这个信息科学重要的基本单位。它只有“0”和“1”两个状态，就像开关只有“开”和“关”两个状态，非此即彼。如果把经典比特放在地球上，那么它就像地球的北极点和南极点，是两个“点”。但量子比特，就是“整个地球表面”——球面上每一个点都是一个独特的“量子态”，既处于“0”态，也处于“1”态。这种“叠加性”，让量子比特的信息量远超经典比特，也为量子计算、量子通信提供了“超能力”。

“量子纠缠”可以比作“一对有心灵感应的双胞胎”——不管这对双胞胎相隔多远，这两个人的状态同步相关。两个纠缠的光子，哪怕一个在青岛、一个在上海，只要测量其中一个的状态，另一个的状态会瞬间确定。这种“量子关联”，就是量子通信实现安全传输的核心原理。

只要放下固有认知，把量子世界当成一个“新的游戏规则”，你会发现它不是遥不可及的理论，而是能解决实际问题的“工具”，比如让通信更安全、让计算更快、让测量更灵敏。

在青岛开辟“海洋量子技术”应用新赛道

记者：您博士毕业的时候，放弃了华南师范大学、北京交通大学、大连理工大学等高校的邀请，选择来到中国海洋大学——当时海大在量子领域还是一片空白。您为什么会做出这个选择？又是如何在青岛开辟出“海洋量子技术”这个特色方向的？

顾永建：我第一次来青岛，就被这片海吸引了——海大的海洋特色全国独一无二，而当时还没人将量子技术与海洋结合，这不是“空白”，而是“机会”。

我记得刚到海大时，很多同事问我“量子和海洋有什么关系”。我当时就说：“量子是解决‘测不准、传不远、算得慢’的利器，而研究海洋恰恰需要这些能力——低频信号难探测、水下通信距离受限制、海洋天气预报需要超强计算……这些都是量子技术能发挥作用的阵地。”

于是我们从最基础的“水下光量子通信”开始突破。光通信需要用光子传递信息，但海水对光的衰减严重，就像太阳光照进深海会越来越暗一样，光子在水下走不了几米就会被吸收。我们团队测试了不同波长的激光，把单光子探测技术引入光通信，优化了光电探测器的灵敏度，让海水中的光通信距离变得更远。

过段时间，我们准备出海做50米以上距离的水下量子密钥分发实验，这个距离听起来不长，但在全球水下量子通信领域，目前还没有公开报道过超过50米的海试成果。现在“空天地海”量子通信网络的构建，就缺“水下”这一块拼图。海大作为海洋领域的龙头高校，有责任把这块短板补上。别人对海的了解没我们深，对光在水下的传播规律没我们熟，这就是我们的优势——把量子技术“种”进海洋，让它在蓝海里生根发芽。

记者：您刚才提到了“量子密钥分发”，这也是量子

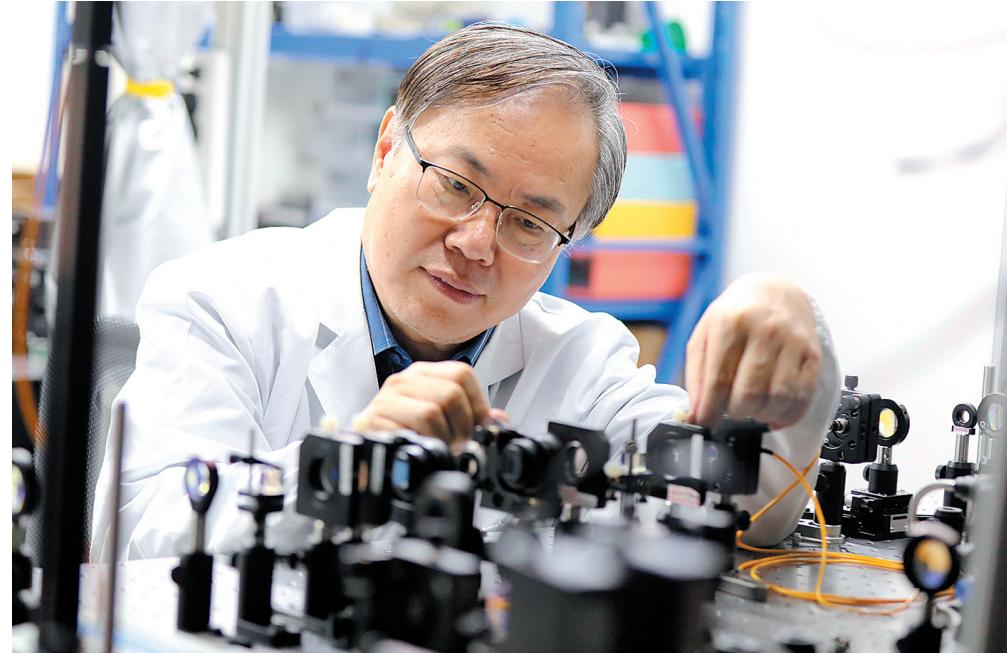
●量子就像“微观世界的小精灵”，它的行为规则和我们熟悉的宏观世界中的行为规则完全不一样。比如我们说“一个杯子”，它要么在桌子上，要么在地面上，不可能“又在桌上又在地面上”。但量子世界里的电子，它可以同时出现在多个位置，这就是量子叠加态

●量子是解决“测不准、传不远、算得慢”的利器，而研究海洋恰恰需要这些能力——低频信号难探测、水下通信距离受限制、海洋天气预报需要超强计算……这些都是量子技术能发挥作用的阵地

●传统加密就像“用一把复杂的锁来锁门”，钥匙的获得依赖于“解锁的难度”。但量子计算机一旦成熟，就像有了超强计算能力的“万能钥匙生成机”，再复杂的锁也能轻松打开。而量子加密是保障信息安全的最新利器

●量子产业不是“短跑”，而是“马拉松”，风险和机遇并存。现在很多人觉得量子是“风口”，投钱就能赚钱，这是一个误区。但青岛也应该有所作为，以免错失这一轮发展机遇

●整体来说，量子不只是微观世界的物理规律，更是解决海洋问题、推动产业升级的钥匙。青岛有海、有人才、有产业基础，只要坚持下去，一定能在蓝海逐“量”的赛道上，跑出属于自己的精彩



■顾永建在实验室调试仪器。 韩星 摄

通信最核心的应用之一。量子密钥分发为什么比传统加密方式更安全？咱们团队在这方面有哪些具体成果？

顾永建：传统加密就像“用一把复杂的锁来锁门”，钥匙的获得依赖于“解锁的难度”——比如形容一把锁难开，可以说“需要算几百年才能解开”。但量子计算机一旦成熟，就像有了超强计算能力的“万能钥匙生成机”，再复杂的锁也能轻松打开。而量子密钥分发，是从“根上”解决安全问题，它的安全性不依赖于计算难度，而是基于量子力学的基本规律——“你一观测，它就变了”。

我给你举个例子：与普通光通信传输信息的形式不同，用量子技术传递密钥时，是用单个光子作为“信使”，每个光子携带一个比特的信息。如果有人想窃听，他必须拦截这个光子并测量它的状态。但根据量子力学，一旦测量，光子的状态就会被破坏。更妙的是，即使窃听者把测量后的光子再发出去，接收方也能通过对比光子的状态，发现“这不是原来的光子”，从而知道有人窃听，然后把这段数据作废。

我们团队做的水下量子密钥分发，就是把这种“安全传递”搬到了海里。目前我们已经研发了三代样机，从最初的10米距离，一步步提升到现在的50米目标。而且我们不只是做原理研究，还在做工程化探索——比如设计能适应海水压力的密封舱，开发能抵抗海洋噪声的信号处理算法，让设备能在实际海域稳定工作。

现在，我国水下量子通信应用还是“无人区”。我们的目标很明确：根据不同的应用场景，先实现50米、100米的突破，未来逐步扩展通信距离，最终构建陆海空立体通信网络，让水下通信更安全，也为海洋科考数据的传输加上“量子安全锁”。

如果不做，坐等技术成熟，青岛就错过了产业升级的机会；如果盲目投入，也可能血本无归。

未来产业的核心就是“不确定性”和“颠覆性”，青岛要做的，是在不确定性中找确定性，在颠覆性中谋突破。

记者：在科研和产业的相互促进中，前沿技术的原始创新引领着产业的发展；产学研合作也促进着技术的升级。在这两个方面，您和团队有哪些成果？

顾永建：目前，我们正在与中电信量子集团等企业合作，计划在青岛落地海洋量子计算项目，甚至引入量子计算机真机。这个项目如果能落地，对青岛来说是“零的突破”——目前国内城市和高校中，拥有量子计算机真机的屈指可数，青岛要是能有一台，不仅能吸引更多量子人才来青，也能让本地企业、科研机构提前用上量子计算资源。

现在，相关合作已经有了实质性进展。比如，我们有与中电信量子集团合作的量子计算相关的研究项目，主要研究海洋动力过程的量子算法，用量子计算模拟海洋运动规律，让海洋天气预报更精准。再如，我们可以使用中电信量子集团、本源量子公司的量子计算机真机，这一合作能帮我们节省大量科研成本。此外，我们跟问天、图灵等量子科技企业也有很好的合作。

此前，我们已经做了一些前期的原创性研究工作，比如研发了量子卷积神经网络、量子循环神经网络等，前不久还在人工智能领域国际顶刊IEEE TPAMI上发表了相关成果，这些都在为量子计算机落地后的应用做“算法储备”。我们的目标是，一旦量子计算机硬件成熟，就可以第一时间用于海洋计算。

整体来说，量子不只是微观世界的物理规律，更是解决海洋问题、推动产业升级的钥匙。青岛有海、有人才、有产业基础，只要坚持下去，一定能在蓝海逐“量”的赛道上，跑出属于自己的精彩。

培养更多懂海洋的量子人才

记者：除了科研和产业推动，您在量子人才培养方面也做了很多开创性工作。您为什么这么重视本科生的量子教育？在培养“懂量子、懂海洋”的复合型人才方面，您有哪些心得？

顾永建：我常说，量子人才培养要“从娃娃抓起”，但这个“娃娃”不是小学生，而是本科生。2004年我初来海大时，国内还没几所高校给本科生开量子信息课，很多学生考上研究生后，才第一次接触量子，起点就比别人低。我当时就想，要让海大的学生“赢在起跑线上”——从本科生开始学量子，到研究生阶段就能直接做前沿研究。

2006年，我们把“量子信息导论”纳入物理专业本科培养方案，这在国内算是比较早的。我上课有个原则：要努力把艰深的理论讲得通俗易懂、生动有趣，同时又要直面课程中的物理、数学难点，拒绝把课上成“水课”。看到评教系统中学生肯定的话语和真实的情感流露，就会特别有成就感。

2021年，我们又创办了“量子人工智能微专业”，这是个面向全校理工科学生的“跨界”专业。为什么要把量子计算和人工智能结合？我们认为，这两个热门领域的结合将激发出无限的可能，代表着不远将来的最高科技。正如图灵奖获得者、中国科学院院士姚期智所说，人工智能与量子计算机融合发展，将把计算能力推向人类认知的一个极限，量子智能激发的潜能将呈指数级增长。这个微专业只招40人，却有近200人报名，我们通过筛选，留下真正对量子、对人工智能有热情的学生。课程设置上，我们分了三门核心课：第一门是“量子力学与量子信息导论”，用来打基础；第二门是“深度学习的理论与实践”，学习人工智能；第三门是“量子计算与量子人工智能”，做融合应用。还设置了科技竞赛作为实践环节。最让我感动的是，学生们的学习热情特别高，这门课设在周末开课，下午一连上四节课。几个西海岸校区的学生要坐校车来崂山校区上课，再坐校车回去，却没有一个人迟到、早退。有个学生跟我说：“老师，我以前觉得量子离我很远，现在才知道，它能解决我感兴趣的海洋问题，这种感觉太奇妙了。”

现在我们的学生在全国量子计算各类大赛中表现不俗。在中国计算机学会量子计算编程挑战赛、中国通信学会“悟空杯”量子计算大赛等头部比赛中，海大的学生连年包揽特等奖、一等奖。这些成绩不是靠“刷题”得来的，而是靠“真刀真枪”的实践——用量子算法预测气候变化、用量子神经网络进行图像分类，这都是大赛的比赛项目。

记者：对青岛未来的量子人才培养，您有什么建议？

顾永建：现在量子人才确实很稀缺，尤其是懂应用、懂行业的复合型人才。青岛要发展量子产业，首先要吸引人才、留住人才、培养人才。我的建议有三点：第一，加大对本土高校的支持，对于在量子教育、科研方面有基础的驻青高校，应该给予更多项目、资金支持，让我们能产出更多更好的成果，培养更多懂量子、懂海洋的人才；第二，推动产学研深度融合，让企业参与到人才培养中来——比如让企业工程师来讲实践课，让学生到企业实习，提前适应产业需求；第三，营造良好的学术氛围，多举办量子领域的学术会议、科普活动，让更多人了解量子、热爱量子，吸引外地人才来青发展。

我常跟学生说，科研就像“挖井”，只要认准一个方向，坚持挖下去，总能挖到水。量子产业也是如此，只要青岛坚持特色、久久为功，一定能在这个赛道上成为领跑者。