

“脆弱”的量子比特，如何成为量子计算“主心骨”

◎本报记者 吴长锋

近来，有关量子计算的新闻不断刷屏。量子计算机的突破，为我们描绘着更快、更强的未来计算场景。然而，对于大多数人来讲，量子计算机依然是“不明觉厉”的存在。

我们可能会发现，表述量子计算机能力水平的一个重要参数是它的量子比特数。无论是我国66比特的可编程超导量子计算原型机“祖冲之二号”，还是近日IBM公司宣布制造出的127个量子比特的量子计算机，量子比特都是一个绕不开的概念。那么，究竟是什么是量子比特？它为什么在量子计算中“举足轻重”？提高量子比特数的难点又在哪里？

“既死又活”的薛定谔猫

量子比特是量子计算机的基本信息单元。与常规计算机使用的非0即1的二进制码不同，量子比特可同时对0和1的状态存在。这种不确定性来源于物理学中的量子叠加：一个量子系统能同时存在于多个分离的量子态中。

想要进一步理解量子叠加，就不得不提及著名量子物理学家薛定谔的那只“既死又活”的猫。

薛定谔的猫其实是一个思想实验。它假定一只猫被关在一个密闭房间内，房间里有一瓶装着剧毒气体的玻璃瓶，瓶上方有一个装有放射性原子的盒子。放射性原子有一定概率发生衰变。盒里还有一个机关侦测放射性原子是否发生衰变。若发生了衰变，机关将控制一个锤子砸碎玻璃瓶，释放出毒气，从而使猫死亡。

但有一个问题出现了：假定关猫的盒子不透明且隔音，不打开盒子的话便无法知道猫的死活。如果问猫是死是活，怎么回答？不打开盒子的话只能推断猫可能是死的，也可能是活的。

因此，现在盒子里关着一只“既死且活”的猫。虽然我们在实际生活中并不会遇到这样的“幽灵猫”，但量子比特却存在类似的情况。量子比特可以同时具有两个或两个以上的多重状态（叠加态），这种现象就是量子叠加。

打破叠加态的方法是测量。例如，我们打开盒子后便知道了猫的生死。因为我们得到了确定的结果（非死即活），叠加态便不复存在，物理描述为叠加态坍塌到某一个量子态。这个打开盒子的过程就是测量。

量子计算机的计算过程便涉及通过测量量子比特，使其量子态坍塌为0或1。这就使得量子计算机与我们日常生活中接触的计算机甚至

是超级计算机都有着巨大差别。普通计算机每一比特(byte)仅能存储两种可能状态：非0即1。但量子计算机不同。由于量子叠加，每个量子比特理论上可同时对存储0或1这两种状态，这使得量子比特拥有比特更大的信息存储能力。比如，由于2的8次方等于256，故具有8比特的二进制计算机能表示0到255之间的任一数字。但具有8量子比特的量子计算机可同时对表示0到255之间的每个数字。

量子计算机正是通过量子叠加实现同时存储大量信息的功能。因此，它们可以在处理复杂任务时，快速存储大量数据，探索多种可能并选择最有效的解决途径。

量子计算机搭建面临巨大挑战

量子比特的概念虽然抽象，但量子计算机并非虚幻。建造它们的理论基础已搭建好，但是要实现它们，还要面临一项艰巨的挑战。

量子比特本质上是处于叠加态的亚原子粒子，如电子、被束缚的离子或光子。量子比特周围环境的细微变化，比如振动、电场、磁场、宇宙辐射等，都可能向量子比特输入能量，进而使叠加态坍塌，使量子比特失效。因此，量子比特需要密封在极冷、真空环境中以最大程度地避免任

何干扰。这就是量子计算机的搭建面临的巨大挑战。

正是由于保持量子比特的叠加态是件非常困难的事，最微小的环境变化也可能导致叠加态的坍塌，造成计算错误。所以，目前世界上还未能造出一台没有误差、且用途广泛的量子计算机。

量子计算机的巨大潜力，还与量子力学中的另一个著名概念“量子纠缠”有关，即各个量子比特可通过量子纠缠联系在一起。

简单而言，当两个量子粒子纠缠在一起时，它们的量子态相同。改变任何一个粒子的量子态的任何属性都将瞬间改变另一个粒子的状态，即便二者相隔千山万水。爱因斯坦将这种无处逃脱的联系称为“幽灵般的超距作用”。

互相纠缠的量子比特不仅能加密即时信息传递，还可让量子计算机的性能呈指数级增长。比如，具有8量子比特的量子计算机可同时对表示0到255之间的每个数字，这只是8量子比特独立存在的情况。如果它们互相纠缠起来，或者和其他量子比特纠缠……整个纠缠的系统所能表示的数字将远远超出人们的想象。

而这正是量子计算机无比诱人的魅力所在。尽管量子计算机仍处于起步阶段，但一旦能够大规模应用，其必将掀起一场颠覆性的革命。



时空四维模型突破限制 让海温预测不再“浮于表面”

◎本报记者 陈曦 郝晓明

从太空视角看，地球像一颗蔚蓝色的“水球”，海洋面积占地球总面积的70.8%。海洋的种种变化，都可能使人类的生活发生改变。其中，海水温度变化与全球变暖、渔业和海洋环境保护等海洋相关领域息息相关，所以在海洋大数

据研究中，海水温度预测在海洋科学上占有重要的地位。

近日，中国科学院沈阳自动化研究所(以下简称沈阳自动化所)在海洋温度预测方法研究中取得新进展，其提出的基于立体空间—时间的四维卷积模型高精度应用于海水温度预测。相关研究结果发表在国际期刊《美国电气电子工程师学会的《地球科学与遥感通讯》》上，并申请相关专利。

诸多因素影响海水温度

“海洋温度体现了海水的热状况，海洋温度变化主要取决于海洋热收支状况及其时间变化。太阳辐射和海洋大气热交换是影响海水温度的两个主要因素。”沈阳自动化所副研究员周晓锋介绍，具体来说，纬度、洋流、季节、深度、海洋生物运动等都会影响海水温度变化。

在开阔的海洋中，表层海水等温线的分布大致与纬圈平行，这是因为地球表面所获得的太阳辐射热量受地球形状的影响，不同纬度得到的太阳辐射不同，则温度不同，因此表层海水温度从赤道向两极递减。同理，不同季节，海水受到的太阳辐射不同，因此温度也不相同。夏季海水温度高，冬季海水温度低。

而同纬度海区，暖流流经海水温度较高，寒流流经海水温度较低。

此外，从海平面到深邃海底，海水温度像一个奶油蛋糕那样分成许多层，温度会随海水深度增加而递减。太阳辐射的热量绝大部分被表层海水吸收，白天吸热，晚上放热。在海

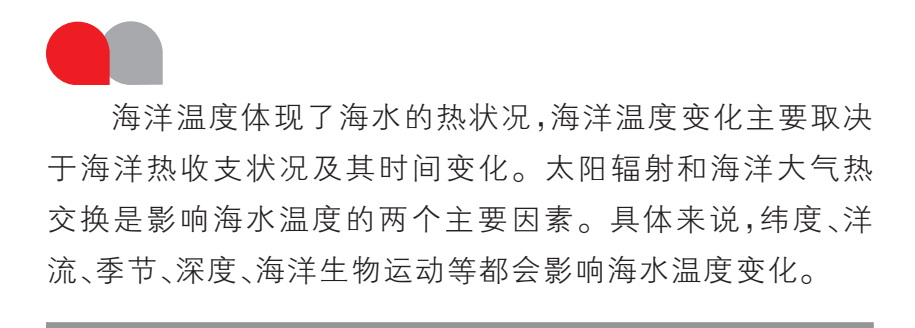
表对流和海浪作用下，表层海水形成一个温度比较一致的混合层，厚度约100米。表层海水到1000米深度的海水，水温随深度增加而迅速递减，而1000米以下的海洋深处因受太阳辐射和表层热量传导、对流影响较小，因此水温下降变慢。

“目前，世界海洋的水温一般在-2℃—30℃，其中年平均水温超过20℃的区域占整个海洋面积的一半以上。”周晓锋介绍，但随深度增加，水温逐渐下降(每深1000米，约下降1℃—2℃)，在水深3000—4000米处，温度达到2℃—1℃。

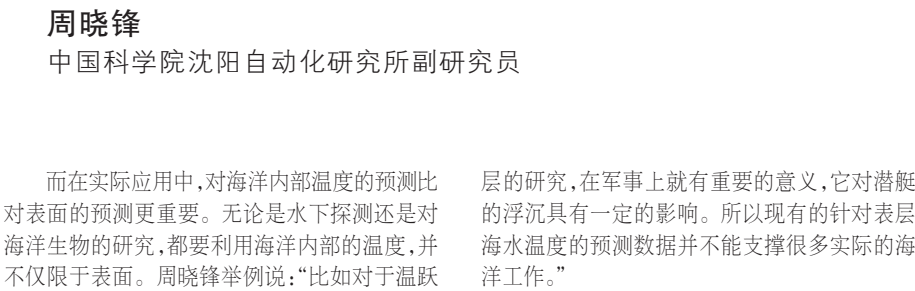
在这些规律之外，海洋中还存在温跃层，冷暖两层海水交界处温度急剧变化，两侧海水密度差异明显，中间这十几米到几十米的薄薄水层就被称为温度跃变层，也叫温跃层。“温跃层的形成是因为水体不同深度的密度不同，而水体自身上下之间的对流不足以均匀混合这个密度差异使之稳定存在，从而形成了密度的分层现象。”周晓锋解释。

预测点的方式导致特征提取不充分。

周晓锋表示，海洋内部不定期存在的温跃层也加大了海洋温度预测的难度，因为温度变化趋势会在温跃层位置发生突变。温跃层有季节性温跃层和主温跃层两种表现形式，其中季节性温跃层并不是大范围海洋温度的存在形态，它的形成时间也并无周期性。“我们无法判断所观测到的温跃层是长期还是暂时性存在的，也很难提前预知到温跃层的位置及形状，这也是目前对海水温度的研究多集中于海表的原因之一。”他说。



海洋温度体现了海水的热状况，海洋温度变化主要取决于海洋热收支状况及其时间变化。太阳辐射和海洋大气热交换是影响海水温度的两个主要因素。具体来说，纬度、洋流、季节、深度、海洋生物运动等都会影响海水温度变化。



时空四维模型让温度预测更准确

针对目前海水温度预测局限于海洋表面，且只考虑时序预测的问题，沈阳自动化所数字工厂研究室大数据课题组提出一种基于时空四维卷积网络的模型，以解决这个问题。

“时空四维卷积模型由三部分组成：四维卷积网络、残差网络、再校准模块。”周晓锋介绍，海洋温度数据本身为经度、纬度、深度构成的三维栅格化数据，增加时间维度后，形成了四维矩阵。利用四维卷积网络，对海洋温度数据提取时间特征的同时，提取三维立体空间特征。四维卷积网络的意义就是实现时空—空双重特征提取。由于卷积运算是线性运算，他们在三维卷积的原理基础上进行改变，实现四个维度同时卷积。

对于普通的神经网络来说，深度层次越多，优化算法越难训练，训练错误便会越多。残差模块可以优化深度神经网络，而利用残差网络进一步加深网络，可进一步提取海洋温度的空间特征。

“在整个海洋空间中，相邻区域的数据对于预测的贡献在空间上各不相同。有的位置温度多变，有的位置温度稳定；有的位置等温线密集，有的位置等温线稀疏。”周晓锋介绍，为了提高模型性能，研究人员给模型在残差模块后面加入了

层的研究，在军事上就有重要的意义，它对潜艇的浮沉具有一定的影响。所以现有的针对表层海水温度的预测数据并不能支撑很多实际的海军工作。”

再校准模块。再校准模块的意义就是探索并量化各个区域特征的贡献程度，对前面计算得到的特征数据进行加权。重要特征赋予较高权重，不同位置也赋予不同权重，然后将特征进行加权求和，得到最终结果，由此提高模型的质量。

课题组利用时空四维卷积模型进行了横截面方向和剖面方向的两方面实验。实验显示，时空四维卷积模型可以准确预测水平方向0—2000米的海洋温度，且准确度并不受海洋深度影响，均在98%以上，并有大部分大于99%。对于剖面方向，时空四维卷积模型可以准确预测出季节性温跃层和主温跃层的位置和形状，准确度不受海洋位置影响，均大于99%。

此外，课题组还将时空四维卷积模型与目前的预测方法做了对比，在平均绝对误差(MAE)、均方误差(RMSE)、预测精度(ACC)和R平方(R-squared)等各个指标上，新模型都达到了最优的效果。

“时空四维卷积模型利用海洋温度数据的双重特征提取，并对特征以及区域进行加权，实现了海洋内部温度的数据预测，打破了目前对于海表温度预测的局限性，并将温跃层的预测变为可能。”周晓锋说。

新知

2.5亿年前的生物大灭绝 造就华北地区丰富煤矿资源

科技日报讯(记者顾满斌 通讯员法伊莎)在距今2.5亿年前的二叠纪至三叠纪之交，地球上发生了一次显著的生物大灭绝事件，超过80%的海洋物种永久消失。但是，陆地植物是否存在集群灭绝一直存在争议。我国华北板块是二叠纪、三叠纪陆地植物的重要繁衍地，为分析植物多样性演变提供了良好的化石记录。

多年来，兰州大学地质科学与矿产资源学院熊聪慧博士与来自北京大学、中国科学院南京地质古生物研究所、法国里尔大学、英国布里斯托大学的学者合作，建立了较为完善的华北板块晚古生代至中生代早期的植物化石数据集，开展了多尺度的植物多样性分析，揭示了华北板块陆地植物的生态适应过程及灭绝模式，近日该项成果在地球科学领域期刊《地球科学评论》发表。

研究者通过借鉴现代生态学理论与前人研究，采用区域、景观及沉积层这三种尺度的多样性指标，定量了华北板块二叠纪至中三叠世的陆地植物多样性，同时，采用物种分布图、异质性指数、存活曲线、网络分析等多种分析手段，系统研究华北板块的陆地植物灭绝事件。

结果表明，华北板块在早二叠世以高大的鳞木、科达、楔叶等数量众多的成煤植物为主，其后发生了两次灭绝事件。第一次在上石盒子组至孙家沟组转折期，陆地植物种灭绝率达到94%，几乎所有高大成煤植物都灭绝了，是一个去森林化的过程，因此也造就了华北地区丰富的煤矿资源。早中二叠世，位于相似纬度的欧美地区也发生了由湿地沼泽转变为干旱地带的过程。

第二次是二叠纪末大灭绝，陆地植物种灭绝率达95%，几乎所有二叠世的植物消失，被早三叠世新的类群如肋木、木贼以及松柏类的一些新类型所替代，其灭绝幅度与二叠纪末最剧烈的海洋动物集群灭绝事件相当，也可对应于我国同期西南地区以大羽羊齿类为主的陆地植物的灭绝事件。

雷暴云顶放电现象 有助研究中高层大气耦合

科技日报讯(记者吴长锋)记者从中国科学技术大学获悉，该校雷久侯、祝宝友和陆高鹏教授团队基于自主发展的地基闪电观测阵列，结合国际空间站搭载的高时空分辨率光学观测资料，首次揭示雷暴云顶放电的光学特征及其诱发的低电离层扰动特征，提出利用无线电信号来探测雷暴云顶放电现象和研究中高层大气耦合的新思路。相关成果11月17日发表于《自然·通讯》。

对流层闪电可以在距地面20公里—100公里的临近空间区域诱发电丽的中高层大气放电现象，根据其始发位置不同可以分为雷暴云顶型放电和低电离层型放电。了解雷暴如何直接影响中高层大气和电离层区域，对认识地球不同圈层之间的耦合过程具有重要意义。然而，受限于传统观测手段缺乏高时空分辨率的立体协同观测资料，学术界关于其现象学特征的认识严重不足。

研究团队基于自主研发的混合长基线光电阵列，结合搭载在国际空间站上的大气—空间相互作用光学探测器，对雷暴过境期间发生在我国华南地区的强雷暴过程进行分析，首次发现一类特殊的云顶放电信号——负极性NBE(双极性窄脉冲)总是伴随着蓝色337纳米光谱辐射，但并不伴随着普通闪电的777.4纳米辐射，这一明显区别于普通闪电的光学特征表明NBE独特的流光发展特性，纠正了长期以来学术界关于NBE放电不发光的传统认知，为利用空间光学手段评估闪电类型和监测强对流提供了有力判据。通过对负极性NBE电信号及其伴随的蓝色光谱信号进一步分析，他们发现NBE峰值电流强度和蓝色光谱信号峰值紧密相关，提供了基于地基电场信号来遥感云顶放电现象的新探测思路。

审稿人认为，该工作展现了混合长基线光电阵列对雷暴云顶微弱放电的强大探测能力，对解决困扰闪电领域长久以来的科学问题，促进学科发展具有重要意义。

计算显微成像算法 使活细胞光显微分辨率达60纳米

科技日报讯(记者李丽云)近日，哈尔滨工业大学(以下简称哈工大)仪器学院现代显微仪器研究所在光学超分辨显微成像技术领域取得突破性进展。研究团队在低光毒性条件下，把结构光显微镜的分辨率从110纳米提高到60纳米，实现了长时程、超快速、活细胞超分辨成像。11月16日，研究成果在线发表于国际权威杂志《自然·生物技术》。

显微仪器的分辨能力代表人类对科学探索的边界。哈工大现代显微仪器研究所团队提出了一种可突破光学衍射极限的计算显微成像算法，利用荧光成像的前向物理模型与压缩感知理论，并结合稀疏性与时空连续性的双约束条件，建立一个通用的解算框架——稀疏解卷积技术，突破了现有光学超分辨显微系统的硬件限制，扩展了时空分辨率和频谱。

在此基础上，研究团队研发了超快结构光超分辨荧光显微成像系统，该系统具有超分辨、高通量、非侵入、低毒性等特点，在高速成像条件下，具备优于60纳米的分辨率和超过1小时的超长时间活细胞动态成像性能。团队首次观察到了胰岛分泌过程中具有两种特征的融合孔道，第一次利用线性结构光显微观察到只有在非线性条件下才能分辨的环状的不同蛋白标记的核孔复合体与小窝蛋白。此外，研究人员还展示了利用该影像技术解析肌动蛋白动态网络、细胞深处溶酶体和脂滴的快速行为，并记录了双色线粒体内外膜之间的精细相对运动。

该项工作在物理和化学方法基础上，首次从计算的角度提出了突破光学衍射极限的通用模型，实现了从0到1的原理创新，是目前活细胞光学显微成像中分辨率最高(60纳米)、速度最快(564帧/秒)、成像时间最长(1小时以上)的超分辨显微仪器。该技术框架也被证明适用于目前多数荧光显微成像系统模态，均可实现近两倍的稳定空间分辨率提升，为精准医疗和新药研发提供了新一代生物医学超分辨影像仪器，使未来大幅度加速疾病模型的高精度表征成为可能。