

# 量子赛道跑出“中国速度”

## ——“解读量子计算新进展”系列报道之三

◎本报记者 洪敬谱 吴长锋

量子计算机理论上具备超越经典计算机的计算能力,正在引领新一代计算技术。

量子芯片是量子计算机的核心处理器。近年来,我国在量子芯片领域取得积极进展,在全球量子赛道中跑出了“中国速度”。

### 成果频出

目前,量子计算比较主流的技术路线包括超导、光子、离子阱、中性原子和硅半导体等。这些量子体系各具特点,目前仍处于“百家争鸣”状态。

中电信量子信息科技集团有限公司(以下简称“中电信量子集团”)量子计算技术部牵头人孙汉涛认为,超导量子芯片的技术发展路线比较成熟,主要优势是与现有半导体工业技术高度兼容,可设计性高,易于耦合,量子门操作速度快。

2019年,谷歌公司成功研制出具有53个量子比特的量子芯片“悬铃木”(Sycamore)。基于该芯片,100万次量子随机线路采样耗时约200秒,而当时世界排名第一的超级计算机则需要1万年左右。谷歌公司宣称实现了量子优越性,这被视为量子计算发展史上的重要时刻。

2020年,由中国科学院院士、中国科学技术大学(以下简称“中国科大”)教授潘建伟领衔的陆朝阳教授课题组和中国科学院上海微系统与信息技术研究所等单位合作,构建了光量子计算原型机“九章”,求解了最高达76个光子的高斯玻色采样问题,求解速度超越经典超级计算机。“九章”在国际上首次实现基于光学体系的量子计算优越性,使中国成为全球第二个实现量子优越性的国家。随后发展的“九章二号”,能操纵255个光子。“九章三号”1微秒可算出的最复杂样本,用世界上最强大的超级计算机之一“前沿”(Frontier)来计算,约需200亿年。

2021年,潘建伟团队构建的66个量子比特可编程超导量子计算原型机“祖冲之二号”,执行量子随机线路采样任务的速度比当时全球最快的超级计算机快1000万倍以上,计算复杂度比“悬铃木”提高了6个数量级。

2024年12月17日,我国超导量子计算机“祖冲之三号”成果在线发表。研究

结果表明,“祖冲之三号”超导量子计算芯片有105个超导量子比特,在各种性能指标上与谷歌公司的量子芯片“威洛”(Willow)旗鼓相当。目前,研究团队正基于“祖冲之三号”超导量子计算芯片开展相关测试工作,为实现大规模的量子纠错和量子比特操控铺平道路。

### 优势显现

当前,高性能量子芯片数量并不多,且超导量子计算芯片还需要室温电子学系统、低温传输线缆、稀释制冷机等配套硬件设备维持其运行。

为了使更多量子计算算法、软件开发工作者,以及量子计算爱好者接触到量子计算,我国科学家及技术人员通过云技术,为大众提供量子计算便利。

2024年1月6日,由本源量子计算科技(合肥)股份有限公司(以下简称“本源量子”)自主研发的超导量子计算机“本源悟空”上线运行。“本源悟空”搭载的72位自主超导量子芯片“悟空芯”,是本源量子自主研发的第三代超导量子芯片。“本源悟空”可一次性下发、执行多达200个量子线路的计算任务,相较于只能同时下发、执行单个量子线路的国际同类量子计算机,具有更大速度优势。“本源悟空”已为全球139个国家和地区的超1800万用户,完成30余万个量子计算任务。“安徽省量子计算工程研究中心副主任、“本源悟空”云服务研发团队负责人赵雪娇告诉记者。

目前,我国科学家已在教育、生物医药等多个领域推广应用量子算力。2024年12月8日,我国首个量子计算与数据医学研究院——合肥量子计算与数据医学研究院在本源量子成立。该研究院由蚌埠医科大学和本源量子共同设立,致力于通过量子计算提升我国医疗数据的安全性及应用效能。

“在生物医药行业,量子计算能够在药物设计、蛋白质结构预测、医疗数据的分析与处理等领域提供助力。”赵雪娇说。

2024年4月,中国科学院量子信息与量子科技创新研究院向科大国盾量子技术股份有限公司(以下简称“国盾量子”)交付一款504比特超导量子计算芯片“骁鸿”,用于验证国盾量子自主研发的千比特测控系统等核心硬件。当年12月,基于“骁鸿”芯片,中电信量子集团和国盾量子联合研发出国内单台比特数最多的超导量子计算机“天衍504”,并接入中国



图为河南郑州网络安全科技馆的量子计算机知识展区。

马健/视觉中国供图

电信“天衍”量子计算云平台。该平台自2023年11月对外服务以来,已为来自全球50多个国家和地区的用户,提供超过60万个实验任务的计算服务。

### 未来可期

多位受访专家认为,当前,包括量子芯片在内的量子计算技术仍处于早期研发阶段,离实际应用还有很长的路要走。但是,科学家们对量子科技发展充满信心。

“国际公认的量子计算发展路线分为三步,第一步是实现量子计算优越性,这一目标中国、美国等国家已达到;第二步是实现专用的量子模拟机;第三步是在实现量子纠错的基础上,构建可编程通用量子计算机。”孙汉涛说。

目前,研究人员正在努力实现量子计算的第二个目标,已经取得一系列进展。例如,中国科大研究团队构建的超冷原子量子模拟器“天元”,以超越经典计算机的模拟能力首次验证了该体系中的反铁磁相变。

2024年9月,安徽省气象局、中国电信股份有限公司安徽分公司、中电信量子集团签署战略合作协议,三方未来将持续发挥各自资源优势,共同协助安徽

气象局构建全国领先的气象信息基础设施算力底座,提升其在信息服务、数据创新应用、数据安全、防灾减灾等方面的工作质效。

在孙汉涛看来,此次签约意味着量子计算在气象预测领域的应用迈出重要一步,将开创降雨精准预测新范式。未来,量子科技有望改善灾害预警系统,助力人类更好应对天气变化,减少经济损失。

“经典计算机在开发数值天气和气候预测模型时存在局限性,‘天衍’量子计算云平台为算法训练提供相关计算资源支撑,可以帮助气象工程师、环境科学家等专业人士获得更及时、精准的数据。”孙汉涛说。

孙汉涛认为,未来5年里,量子计算有可能在一些实际应用场景里体现出真正优越性。“量子计算最有可能的应用是在化学领域,用于模拟化学分子结构、化学反应等,实现更高效、更低耗能的化学品设计。”孙汉涛说。

孙汉涛进一步展望,预计未来3到5年,研究人员可以实现数百至上千个量子比特的相干操纵,实现可扩展的量子纠错;未来10到15年,在量子纠错的基础上,有可能构建具备基本功能的通用量子计算机,探索量子计算在化学模拟、加密破解、大数据分析等方面的应用。

# 碳化硅集成光量子纠缠器件领域研究获突破

科技日报讯(记者罗云鹏 通讯员李晓慧)记者从哈尔滨工业大学(深圳)获悉,该校教授宋清海、周宇团队在碳化硅集成光量子纠缠器件领域取得新突破,将进一步推进集成光量子信息技术在量子网络和量子传感领域的应用。相关论文近日发表于《自然·通讯》。

研究团队在绝缘体上的碳化硅材料

上制备出单个电子自旋阵列,并通过精细操控展示了这些自旋的相干特性。

同时,研究团队将特殊的碳化硅外延层晶圆与氧化硅晶圆结合,通过磨削和抛光技术将碳化硅层薄到200纳米。

随后,研究团队利用离子注入技术,在碳化硅层中引入双空位自旋,并通过光磁共振(ODMR)技术验证了自旋相干特

性。据悉,在此次研究的碳化硅中,约有1.1%的碳原子和4.7%的硅原子具有核自旋特性。

宋清海介绍:“我们成功识别了一种特定类型的碳化硅量子缺陷,发现核自旋与电子自旋之间的强耦合能够实现快速的量子操作。”这些发现为碳化硅片上集成的光子信息处理提供重要基础。

另悉,研究团队将这种电子-核纠缠量子寄存器集成到光波导中后,成功实现了接近100%的核自旋极化,并制备出最大纠缠贝尔态。

周宇说,该实验结果表明,量子寄存器的光发射和自旋在集成后保持稳定,纠缠也能够稳定保持在室温的光波导中。

# 新技术为隔空充电提供更多可能

◎本报记者 王禹涵

飞行中的无人机、正在移动的智能机器人,都可以远程隔空充电,科幻小说里描述的场景有望成为现实。

近日,由西安电子科技大学教授李龙课题组与中国科学院院士、东南大学教授崔铁军课题组共同研发的一种自适应无线传能技术,可以用类似Wi-Fi的无线传输方式,将无线能量实时、高效地聚焦并传输到动态的终端设备上,实现无电池供电的感知、计算和通信。

在李龙看来,这项研究是面向无线传能、感知、通信一体化领域的探索,未来有望为万物智联的传感器设备进行无线供电。相关论文发表于《自然·通讯》。

### 边移动边充电

无人机广泛应用于高空拍摄、物流配送、农业植保、应急救援等诸多领域,机器人、可穿戴设备等智能硬件也走进人们的生活,但续航能力却始终制约其

进一步发展。如何为这些智能设备提供可靠、持久的能源供给,成为亟待解决的技术难题。

无线能量传输技术的突破,意味着未来的智能设备有望摆脱传统电池和有线充电设施。

“我们针对精确近场无线定位、自适应无线能量传输、高效无线能量收集等问题,构建了一种基于双频超表面、卷积神经网络近场定位的自适应无线传能网络。它能进行同步的目标感知定位和波束调控,进而实现自适应追踪的无线能量传输。”李龙说,这项研究在动态无线能量传输和无线定位领域取得突破性进展。

据了解,传统的无线充电技术主要依赖于近距离、接触式的电磁谐振感应,其效率和适用范围受到空间、距离、环境、设备等制约。

李龙课题组研究的基于电磁超表面的辐射式无线能量传输与接收技术有望突破这一瓶颈。这种技术宛如“智慧大脑”,它通过目标感知和环境交互实现智能化调整电磁波传输参数,并根据周围环境变化及设备实时需求,提高无线能量传输效率,精准且高效地为

设备输送能量。

与传统的无线充电方式相比,自适应追踪的无线能量传输技术有望支持无人机、智能机器人等终端设备,在移动过程中进行稳定、高效的非接触式无线充电。团队成员、西安电子科技大学博士生夏得校说,这项技术是电磁超表面在无线传能领域的创新和突破,促进信息超表面研究沿着智能化、多功能方向发展。

### 厘米级跟踪定位

如何精准定位移动中的智能设备?这是实现远程隔空充电的关键。

研究人员将超表面能量接收整流过程中产生的二阶谐波作为定位信号进行反馈,结合超表面时空编码技术和卷积神经网络,首次在单发单收系统上实现了3厘米分辨率的近场定位精度。

研究人员介绍,他们构建了一款双频共口径的可编程超表面,用于实现全双工的辐射调控和目标感知。他们还设计了用于无线供电的传感器终端,由此对射频能量进行高效收集和直流转换,

## 新知

### 太阳迷你暗条爆发机制揭示

科技日报讯(记者赵汉斌)记者1月13日从中国科学院云南天文台获悉,该台研究人员利用一米新真空太阳望远镜和太阳动力学天文台获取的数据,详细研究了太阳活动区中一个三维扇-脊磁位型中由两步磁重联触发的迷你暗条间歇性爆发,并取得了重要进展。这一研究对理解太阳活动区的物理过程具有重要意义,相关论文发表于《天体物理学报》。

迷你暗条是大尺度暗条的类似物,其空间尺度较小、寿命较短,但发生率较高。它们多数位于宁静区,少数位于活动区或冕洞,其爆发常伴随随流和环形耀斑的产生。此次研究中,该团队发现,迷你暗条的爆发与扇-脊结构内的两步磁重联过程密切相关。在太阳物理学中,磁重联被认为是驱动太阳活动(如太阳耀斑、日冕加热等)的重要机制之一。

通过对2023年4月7日至8日活动区NOAA 13272中位于扇-脊磁位型内的一个迷你暗条两次间歇性爆发的详细分析,研究人员发现,两次爆发都与扇-脊结构内的两步磁重联过程相关。第一次磁重联发生在小尺度磁环和内脊之间,导致内脊重构。当重构后的内脊逐渐向外脊靠近时,它们在磁零点处发生了第二次磁重联,导致迷你暗条部分爆发。随后,这种两步磁重联过程再次发生,触发迷你暗条完全爆发。

研究认为,两步磁重联是触发迷你暗条两次爆发的主要机制,其中零点磁重联是迷你暗条爆发的直接触发者。磁场外推的结果也进一步证实了一个三维零点的扇-脊结构的存。该研究详细分析了日冕零点磁重联前及磁重联期间扇-脊结构内外脊的演化过程,并解释了迷你暗条爆发前零点磁重联的触发机制,揭示了零点磁重联与迷你暗条爆发之间的因果关系。

### 超分子阿基米德多面体构筑有了新途径

科技日报讯(记者陈曦 通讯员赵晖)记者1月13日从天津大学获悉,该校理学院教授胡文平、王雨、吴煌与诺贝尔化学奖获得者詹姆斯·弗雷泽·司徒塔塔团队联手开辟了光电小分子手性组装新途径,构筑了超分子扭棱立方体,在光电功能的手性阿基米德多面体构筑上取得突破。相关论文发表于《自然》。

2000多年前,古希腊数学家阿基米德提出了13种以结构复杂著称的阿基米德多面体。长期以来,阿基米德多面体备受数学家、化学家、材料学家关注。这一领域的相关研究可对新材料、生物医药、化工等领域产生深远影响。比如,许多球形病毒衣壳和铁蛋白展现出类似阿基米德多面体的拓扑结构。如果能设计并合成超分子扭棱立方体,将为理解球形生物大分子在生物系统中的形成与功能执行提供重要途径。

在13种阿基米德多面体中,扭棱立方体具有拓扑手性。拓扑手性描述的是一种分子或物体的结构特性,这种特性使它们与其镜像在三维空间中无法直接重合,就像人们的左右手一样,各有各的形状,各有各的“个性”。实现扭棱立方体的立体特异性构筑一直是化学家和材料学家追求的目标。

联合研究团队基于光电功能分子,设计并合成了“8”字形的螺旋大环,并通过螺旋大环之间的144个弱氢键实现了超分子扭棱立方体的定向组装。胡文平介绍,该研究实现了左手扭棱立方体和右手扭棱立方体的选择性构筑。由于其独特的多孔结构,该扭棱立方体能够同时装载多个不同的有机客体分子,还能在立方体的内部空腔和外部“口袋”中选择性地装载不同的客体分子。

该扭棱立方体还表现出优异的光电性能,能在光照下发生可逆的颜色变化。研究人员可以用光照来调节其弹性和硬度,为开发机械性能可调的先进光电功能材料奠定基础。这项研究还为构筑具有拓扑手性的人工多面体提供了全新组装途径,为开发具有丰富包裹性能的智能人工多面体提供了新方向。此外,在模拟生物封装材料这一方向,该研究也迈出重要一步,为设计先进的光电功能晶态材料提供了新思路。

### 浙江上山遗址发现东亚最早酒类酿造证据

科技日报讯(记者陆成茂)酿酒技术何时起源、如何发展,一直是未解之谜。记者日前获悉,中国科学院地质与地球物理研究所、浙江省文物考古研究所及美国斯坦福大学的科研人员,聚焦我国浙江上山文化遗址,利用多种微体化石分析技术,发现了东亚最早酒类酿造证据,揭示了上山遗址1万年前稻米酿酒技术。相关论文在线发表于《美国国家科学院院刊》。

科研人员在浙江省浦江县上山遗址采集了12件陶器残片。这些陶器的用途分别为发酵、烹饪等。“样本采集后,我们对陶器的内表面残留物、陶胎、文化层沉积物等进行微体化石提取与分析,以确定陶器的使用功能和相应的食物加工方式。”论文第一作者、美国斯坦福大学教授刘莉介绍。

植硅体分析显示,陶器残留物和陶胎含有大量驯化稻的植硅体。这意味着稻米是上山人群的重要植物资源。同时,这也说明,当时稻壳和稻叶被用于陶器制作,进一步证明稻米在上山文化中的核心地位。

科研人员还在陶器残留物中发现了稻米、稗草等多种植物的淀粉粒。“较多淀粉粒表现出酶水解和糊化的现象,这一迹象表明,这些植物曾经被发酵过。我们进一步研究发现了大量真菌成分,如红曲霉和酵母细胞,其中一些显示出典型的生产发育阶段特点。这些真菌与传统酿造酒时使用的真菌种类相关,如红曲霉是中国传统红曲酒酿造使用的主要霉菌。”刘莉说。

紧接着,科研人员分析了红曲霉和酵母菌在不同陶器类型的分布,发现小口罐中红曲霉和酵母菌的数量显著高于用作炊器的罐和用来加工一般食物的大口盆。这表明,陶器类型与特定功能相关,小口罐可能专门用于酿造发酵酒。

刘莉认为,这项研究不仅揭示了早期稻米酿酒的复杂性与创新性,也为理解东亚地区稻作农业的起源、早期社会结构和技术传播提供了重要科学依据。