大飞机报
China Commercial Aircraft News
2025/8/6 星期三
责任编辑丨郑小芳　美术编辑丨刘晓雨

迎来『量—超—智』三算融合时代

□ 郭光灿

从全球布局来看，美国和欧洲是量子产业生态的活跃地区，欧美国家的量子企业聚集度较高，全球占比超过60%。国际商业机器公司（IBM）作为全球量子计算领跑者，于2023年12月发布1121比特量子处理器Condor，并推出首款模块化量子计算机IBM Quantum System Two。美国谷歌公司开发了一款量子芯片Willow，首次实现了“低于阈值”的量子计算——即在扩展量子比特数量时，能够降低误差率，这是量子计算领域一个重要里程碑。加拿大、日本、中国的量子计算团队也在迅速向几百、上千比特迭代。本源量子于2024年1月上线“本源悟空”超导量子计算机，搭载由72个计算比特和126个耦合比特构成的量子芯片。

量子计算与超级计算、智能计算的融合发展正成为现实。全球主要国家正在加快布局建立量子经典协同计算平台。2023年，国际商业机器公司（IBM）在加拿大、西班牙的超算中心部署127比特量子计算机。欧盟将6台高性能量子计算机集成到捷克、法国、德国、意大利、波兰和西班牙的各个超算中心，组成欧洲的量子计算网络。日本理化学研究所（RIKEN）在日本产的64比特超导量子计算机和超级计算机“富岳”之间建立通信链路。2024年，“本源悟空”成功接入上海超算中心、国家超算郑州中心、长三角枢纽芜湖集群，软件层面实现不同算力的弱耦合。合肥先算中心率先在国内启动超量融合中心建设，即将试点部署真实量子计算机。

各国积极发展应用生态，“量子实用”随时可能爆发。全球有超过100个企业案例活跃在能源、医疗保健、金融、汽车、航空航天、物流等行业。国际商业机器公司（IBM）的研究证明，利用量子经典协同工作，100+比特量子计算机可以探索化学、材料领域的实用级问题，并与化工、汽车、能源、航空等领域的众多合作者迅速推进应用，行业内预测量子计算产生商业价值的时间大大提前。

实用化量子计算机发展可分为3个阶段。第一阶段，实现量子计算优越性的实验室阶段。当前的超级计算机已经无法顺利求解某些特定的海量数据、高复杂度问题，若研制出50到100个逻辑量子比特的高精度专用量子计算机，就可在此类问题上充分展示其“量子优越性”，实现高效率求解。第二阶段，寻求在某些特定领域实用价值的展现。这一阶段意味着量子计算机已经开始走出实验室开启应用探索，尽管量子逻辑比特数只有100左右，但其运算能力已经超过任何超级计算机，量子计算机正进入早期工业阶段。第三阶段，研制可编程的通用量子计算机。可编程的量子计算机在多场景下应用，量子比特的操纵精度、集成数量和容错能力都将大幅提升。

现阶段发展最快的超导量子计算机正处于第二阶段，已经在金融、材料科学、药物设计等领域展现广泛的应用前景。超导量子计算机“本源悟空”已在特定领域上线多款量子计算真机应用，包括金融领域投资组合优化应用、生物医药领域分子对接应用等。

量子计算当前正处于“含噪声的中等规模量子”阶段，如何在较高“噪声”环境下运行，成为量子计算机所面临的难题。能够适应通用场景下的容错量子计算机尚未研制成功。

未来5年，全球将进入“量—超—智”三算融合时代。量子计算、超级计算和智能计算协同完成运算任务就是“量—超—智”融合。如果把普通计算机比喻成“自行车”，那么带有人工智能的智能算力就是一列“高铁”，而量子计算机就像是一架“飞机”，三者协同将是未来算力的终极形态。

据《人民日报》，作者系中国科学院院士、中国科学技术大学教授



Classiq曾将其量子计算效率技术应用于罗罗发动机领域。

在全球科技竞争聚焦前沿突破与自主可控的当下，量子计算作为颠覆性技术，其工程化应用能力已成为衡量国家科技实力的重要标尺。前不久，合肥综合性国家科学中心人工智能研究院、中国科学技术大学、本源量子等单位依托第三代自主超导量子计算机“本源悟空”模拟了网格规模为41×41非定常声波传播问题，求解的线性方程组维度高达5043，成功展示了在超导量子计算机上进行大规模流体模拟的潜力。这也是迄今为止国际上采用量子计算的最大规模计算流体力学（CFD）案例。

超越『不可能三角』

量子计算在流体力学领域的应用

□ 郭国平

为流体力学开辟新路径

在流体力学领域，长期以来存在一个难题，即精度、规模和效率难以同时兼顾，被称为“不可能三角”。传统CFD方法在进行高精度流体模拟时，如对飞机机翼形状进行优化设计，需要处理数亿个网格单元，计算成本极其昂贵，可能耗费数月甚至数年的计算资源。

量子计算技术的出现为这一难题提供了潜在的解决方案。量子计算凭借其强大的并行处理能力，能够显著降低解大规模线性方程组运算的复杂度。以线性方程组的量子算法（HHL算法）为例，它将复杂度从传统的O(N)降低至O(logN)，即从线性增长转变为对数增长，极大地提升了计算效率。量子计算还能在保证精度的同时扩大模拟规模，为流体力学领域提供更高效、更精准的解决方案。这将为流体力学领域的研究和实际工程应用开辟全新的可能性。

在国内，本源量子很早就开始了量子计算流体动力学探索。2019年，空客公司发起全球量子计算挑战赛，邀请了全球36个量子计算团队、超过800名研究人员，旨在利用量子算力加快飞机机翼设计。在此次比赛中，本源量子团队构建了一个在量子计算机上求解计算流体动力学问题的算法，成为唯一入围该挑战赛5强名单的中国企业。

在国际方面，2023年，英伟达、罗尔斯·罗伊斯与量子技术公司Clas-siq合作设计全球最大规模量子计算流体动力学电路，显著提升航空发动机效率。空客联合英国囚禁离子量子计算技术开发商（OxfordIonics）和多物理场模拟软件提供商（Quanscient）推进航空量子流体技术，计划2025年将量子CFD集成至飞机设计流程，目标是将高超声速气动热仿真时间从数周缩短至小时级。

成为驱动升级新引擎

计算流体动力学广泛应用于航空航天、汽车工程、船舶设计等领域，与飞行器、汽车及船舶的外形设计都紧密相关。在该领域，量子计算展现出巨大潜力。

在能源装备领域，风电叶片复杂气动载荷模拟方面，量子计算能够更精准地预测叶片在不同工况下的受力情况，从而优化叶片设计，提高发电效率；对于核反应堆冷却系统多相流优化，量子模拟可帮助精确控制冷却剂的流动特性，提升核反应堆的安全性和运行效率。量子计算的高效模拟能力，可为这些重大工程提供更快速、精准的解决方案，推动项目高效实施。

在航空航天领域，通过高精度量子流体模拟，可大幅压缩飞行器外形迭代周期。我国已依托超导量子计算机“本源悟空”完成全球最大规模（网格规模41×41）的量子计算流体动力学仿真，将线性方程组求解维度提升至5043，验证了超导量子硬件在复杂工程问题中的潜力。我国开发的“本源量禹”软件也已验证量子计算在复杂气动仿真问题上的可靠性。通过高精度的量子流体模拟，优化飞行器的气动外形，提升其空气动力学性能，加速新型号的迭代研发。

在汽车船舶工业领域，借助量子优化的流体仿真，高效探索数以百万计的设计参数组合，实现汽车和船舶气动/水动性能的极致优化。有望将新车、新船的研发周期缩短，促使油耗/排放降低、续航里程提升等显著经济效益。这将推动汽车产业向绿色低碳和高性能方向发展，促进我国汽车船舶工业的转型升级。

在环境工程领域，空客与超导量子计算公司IQM等合作，利用量子计算提升CFD性能，从而优化飞机设计、降低燃油消耗与碳排放等。丹麦开发高分辨率拉格朗日模型（DALM），结合量子算法后可实现污染物扩散动态预警。通过量子计算对污染扩散过程进行快速、准确的模拟，为环境监测和污染防控提供及时、科学的决策依据。

在国产大飞机等设立应用示范项目

当前，欧美商业CFD软件（如Ansys Fluent、CFX）占据中国市场份额超90%，我国工业软件国产化率不足10%。量子计算为我国提供了打破垄断、实现“弯道超车”的战略机遇。发展自主可控的量子计算流体力学技术，将有效降低对国外软件和技术的依赖，提升高端制造业核心竞争力，并保障关键领域技术安全与工业体系的自主稳定发展。

尽管前景光明，量子计算在流体力学应用仍面临理论与技术双重挑战。一是理论框架还需“打好地基”。量子流体动力学基础理论体系、量子——经典混合算法的数学基础等问题需深入探索。二是硬件还需“练内功”。当前量子计算机（NISQ中等规模阶段）尚不成熟，量子比特数量少、相干时间短、错误率高，制约了大规模复杂问题求解能力。三是算法离工程化有“最后一公里”。算法的可扩展性、容错性及实际工程接口设计均需重大突破。四是复合型人才稀缺。既懂量子计算又精通流体力学尖端问题的跨学科人才严重不足，培养速度远远跟不上技术发展需求。

为巩固我国来之不易的先发优势、抢占战略制高点，建议采取以下关键举措。

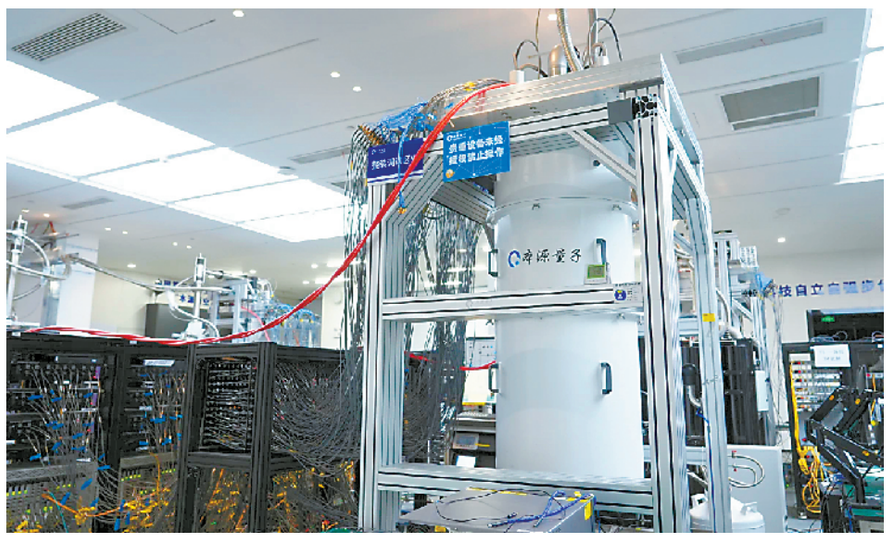
建设国家级协同创新平台。集聚合肥、北京、上海等地的优势科研力量，成立国家量子流体力学重点实验室或创新中心。优先向流体力学领域开放“本源悟空”等国家自主量子算力平台，集中资源开展核心算法、软件框架与工程化验证的联合攻关。打破部门和地域限制，形成协同创新的合力，加速量子计算在流体力学领域的技术突破和应用推广。这样的平台建设将汇聚各方优势资源，为量子计算与流体力学的深度融合提供坚实的物质基础和科研环境。

强化基础研究与核心技术攻关。设立量子计算流体力学国家专项基金，重点支持量子——经典混合算法、高效量子态制备与测量、面向流体问题的专用量子硬件以及误差缓解等底层技术的研发。同时，鼓励顶尖高校设立量子流体力学交叉学科，加强跨学科人才培养，制定相关专业课程体系和培养方案，为该领域源源不断输送高素质复合型人才。

加速产业融合与应用示范。在国产大飞机、第四代核电站等国家重大工程以及新能源汽车、船舶制造、清洁能源等优势产业中，设立量子计算流体力学（QCFD）应用示范项目。以实际工程需求为牵引，推动量子计算技术与产业应用的深度融合。建立“产学研用”紧密协同机制，促进龙头企业与量子计算团队深度合作，将前沿算法快速转化为实际的工程设计力和生产力。

积极参与全球治理与标准制定。在坚持核心技术自主可控的前提下，积极参与量子计算流体力学国际标准、基准测试等制定工作。支持国内科研团队和专家主导国际会议与期刊，提升我国在该领域的学术影响力和国际话语权。通过参与国际合作与交流，推动形成开放、包容、互利共赢的量子计算流体力学国际合作生态。

据《学习时报》，作者系中国科学技术大学教授、安徽省量子计算工程研究中心主任



中国第三代自主超导量子计算机『本源悟空』。

课代表

什么是量子计算

量子计算是一种基于量子力学原理的新型计算模式，基本原理是利用量子信息单元（即量子比特）的量子叠加和量子纠缠等量子力学现象进行计算。

与传统的经典计算机相比，量子计算机在理论模型上是用量子力学规律来重新诠释的通用计算机。虽然量子计算机只能解决经典计算机所能解决的问题，但由于量子力学叠加性的存在，它在处理某些问题时速度要远快于经典计算机。比如在量子搜索算法中，量子比特可以同时搜索数据库中的多个条目，大大加速了搜索过程。

与经典计算有何不同

信息存储

从信息存储角度看，经典计算基于经典物理学，信息以二进制的比特存储，每个比特就像一个普通的开关，非“0”即“1”。

而量子计算中的量子比特处于叠加态，两个量子比特可同时代表4种状态，更像是一个神奇的开关，随着量子比特数量增多，它表示的状态数量呈指数级增长，为处理海量信息提供了可能。

更形象地说，传统开关控制的灯要么开要么关，而量子比特所控制的灯既能开关，还可实现不同“亮度”或“强度”的调整。

纠缠特性

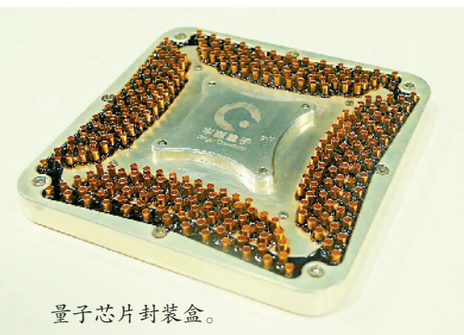
量子纠缠也是量子计算中的关键现象。处于纠缠态的多个量子比特，其状态变化会瞬间影响到其他纠缠量子比特的状态。这种特性为量子计算实现高效的信息传递和协同计算提供了有力支撑，使得量子计算能够突破传统计算的限制，完成一些在经典计算框架下几乎无法完成的任务。

比如，想要在一个大迷宫中找到出口，如果借助经典计算机，它会逐个尝试不同的路径，直到找到出口。而量子计算机可同时走遍迷宫的所有路径，更快速找到出口。

计算方式

经典计算基于确定性逻辑运算，在相同初始条件下结果可预测。量子计算则具有概率性，结果需通过测量获取。

量子计算利用干涉效应，增强正确答案出现的概率，经多次测量统计，分析得出较准确结果。在处理大规模复杂数据集和任务时，量子计算的适应性和高效性更强。



量子芯片封装盒。

本报地址：上海市浦东新区世博大道1919号　邮编：200126　电话：021-20887106　传真：021-20887151　每逢周三出版　本期售价：1元　印刷：商务印书馆上海印刷有限公司