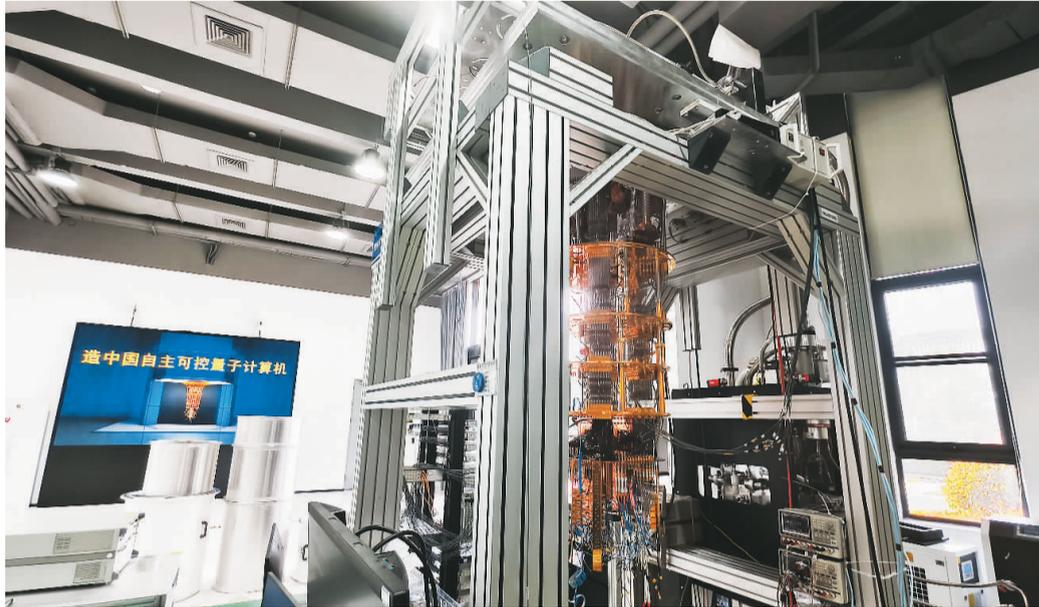


探访合肥市本源量子计算机组装与测试实验室——

# “造出中国人自己的量子计算机”



图为安徽省合肥市本源量子计算机(合肥)股份有限公司的量子计算机组装与测试实验室。

倒金字塔形的机体闪烁着科技的光芒,星罗棋布的排线有条不紊地输送着电流和信号,发光的芯片与远处墙上“造中国自主可控量子计算机”的标语遥相呼应,散热器嗡嗡声汇成的交响乐在一尘不染的实验室里回荡不息……这是近日,本报记者在安徽省合肥市本源量子计算机(合肥)股份有限公司(以下简称本源量子)量子计算机组装与测试实验室看到的量子计算机运行场景。

量子计算机是实现量子计算任务的物理装置。与经典计算机相比,量子计算机拥有并行性、指数级加速等优势,计算能力异常强大,可在大数据、网络信息安全和人工智能、新药研发、金融工程等领域大显身手。

“在信息时代,算力体现国力。算盘和现有计算机的算力差距,就是现有计算机和量子计算机的算力差距。”中国科学院量子信息重点实验室副主任、中国科学技术大学教授郭国平对本报记者说,“我们在量子计算研发事业上的初心,就是造出中国人自己的量子计算机。”

经过20多年的“修炼”,中国的量子计算机发展成绩亮眼。近日,本报记者走进本源量子,现场感受量子计算机的魅力。

## 初心 几代科学家的接力

中国量子计算机的发展,经历了几代科学家的接力,其起步,可以追溯到26年前。

“1998年,我在筹办一个‘量子通信和量子计算’科学会议,为了扩大会议影响,希望邀请‘两弹一星’元勋钱学森来主持会议。”中国科学院院士、中国科学技术大学教授郭光灿说。

在致钱学森的信中,郭光灿对发展量子信息技术的重要性做了解释,并热切邀请钱学森主持会议。

没多久,郭光灿就收到了钱学森的回信。钱学森高度赞同他的观点,认为“我国应集全国力量攻克量子信息系统的技术问题”。

从那时起,以郭光灿为代表的科学家开始了研究量子计算机的征程。回忆往昔,郭光灿对本报记者说:“迅速地研发出可以直接应用的国产量子计算机,并在国民经济各个领域发挥量子计算优势的作用,是我们这一代人义不容辞的历史使命。”

然而,中国量子计算机的研究之路,并不是一帆风顺的。

在当时,国内的量子研究并没有引起足够的重视。郭光灿于1998年、1999年、2000年3次申请国家重点基础研究发展计划(973计划),均以失败告终。

面对这样的困境,郭光灿没有气馁,他始终认为绝不能错过发展量子信息的大好机遇。后来,他成立了中国科学院量子信息重点实验室,这是中国第一个量子信息实验室。

初始的实验室相当简陋,“只有一台386电脑,一台针式打印机,就两个设备。”郭光灿的一名学生回忆说,当时大家都是排着队用设备的,谁到点了,哪怕没算完也得换人。

功夫不负有心人,2001年,在第四次申请之后,郭光灿终于成功申请到了国家首个量子信息领域的973计划,获得2500万元科研经费。该项目的实施对中国量子计算研究蓬勃发展并在国际上占有一席之地有重要作用。

作为本源量子的首席科技顾问,郭光灿不仅要考虑自己的团队,更要考虑国家量子信息未来的发展。“中国要在世界上竞争,靠一个团队是不行的,必须团结国内所有力量来参与竞争。”此后,郭光灿组建了量子信息科学队伍。这个队伍里,走出了郭光灿等5位中国科学院院士。

时间来到2010年,郭光灿的学生郭国平接过接力棒,担任了“固态量子芯片研究”重大专项首席科学家。郭国平说:“绝不能在关键核心技术领域受制于人,一定要有中国自主可控的量子计算机。”

2010年,郭国平申请了中国“超级973”科技专项“固态量子芯片”重大项目,任首席科学家,并于2013年在“一个电子”上实现10皮秒(1皮秒等于一亿分之一秒)级量子逻辑门运算,将原世界纪录提高近百倍,为实现基于半导体的量子计算机迈出重要一步。

2012年暑假,正在选择研究生方向的孔伟成初次来到中国科学院量子信息重点实验室,参与了一组公开课的录制过程。当时,担任量子信息重点实验室主任的郭光灿进行授课,作了一场名为《来自量子世界的新技术》的科普报告。那一次报告让孔伟成爱上了量子,决定从事这方面研究。

“为国家研发自己的量子计算机,是我的梦想,也是我的使命。”科研之路,好比穿越量子计算“无人区”,孔伟成常这样想。现在,在量子计算机领域钻研10多年的孔伟成已经成长为安徽省量子计算工程研究中心副主任、“本源悟空”硬件研制团队负责人。

2017年,郭国平领衔创办了中国首家量子计算机产业化企业——本源量子,致力于中国量子计算的工程化和产业化。作为本源量子团队成员,郭光灿与郭国平带领中国科学院量子信息重点实验室的研究人员默默耕耘,孔伟成也加入其中,担任量子计算测控系统和整机组装研发工作。

## 技术 关键组件实现国产

“超导量子计算机产业链有多个关键点,芯片、测控系统、制冷系统、软件及操作系统。”郭国平说。

逢山开路,遇水架桥。量子芯片、量子计算测控一体机、量子操作系统、量子软件、量子计算云平台……为造出中国人技术自主可控

的量子计算机,本源量子建设了量子芯片制造封装和量子计算机组装测试两大实验室,完成了从芯片到整机软硬件的全栈式开发。

“每一项研发都要从零做起,意味着巨大的挑战。”郭国平说。

“实现国产自主研发量子计算机决不能靠商用仪器拼凑,我们需要造出量子计算机真正需要的控制系统。”孔伟成对本报记者说。

2018年12月,完全自主知识产权的首款国产量子测控系统——本源量子测控一体机研制成功。该量子测控一体机不仅能最大程度发挥量子芯片性能,还能应用于精密测量等更广泛的科研领域,填补了国内在量子测控领域的空白。

2020年9月,首台国产化量子计算机原型机本源悟源上线发布,2021年,中国第一台量子计算机交付中国用户使用。

“想要搭建一个可以使用的量子计算机,不仅要去项目现场,还要调动几乎所有的团队资源。”孔伟成说,那一年,他几乎都是在研发平台和外地两头跑。

“到了最后一个月,整个团队基本就没有休息过,还有大量未攻克的难题。”孔伟成回忆道,“上线前3个小时,我们修复了最后一个漏洞,系统正常运行起来。那天我只睡了1个小时,但完成上线时,心里是满满的成就感,更有作为中国人的自豪感。”

这台交付的量子计算机,使得中国成为世界上第三个具备量子计算机整机交付能力的国家。

2021年,中国自主研发的量子计算机操作系统本源司南诞生。

自此,中国科研团队开发出中国第一套量子计算机测控系统和操作系统,上线中国第一个搭载量子计算机真机的量子计算云平台、研发出中国首个自主量子芯片设计软件——本源坤元Q-EDA……从硬件、软件、人才和产业方面提高中国量子计算原始创新能力。

今年1月6日,由本源量子公司研制的中国第三代自主超导量子计算机“本源悟空”上线运行,并向全球用户限时免费开放。“本源悟空”的国产化率超过80%。其搭载了我国首条量子芯片生产线上生产的72量子比特量子芯片、中国首套量子计算测控系统、中国首款量子计算机操作系统。

这是中国量子算力首次大规模、长时间向全球开放,标志着中国正式进入量子算力“可用”时代,也意味着中国自主超导量子计算机制造链已然“成链”。

孔伟成介绍,新机器匹配了本源第三代量子计算测控系统“本源天机”,实现了国内首次量子芯片的批量自动化测试,使量子计算机整机运行效率提升数十倍。

除了硬件,“本源悟空”还搭载了我国首个量子计算机操作系统——本源司南3.0版本。操作系统研发团队负责人窦猛汉告诉本报记者,这一系统在国内首次实现了对量子计算任务批处理的支持,不但能够支持量超协同计算,还可高效调度量子计算资源,大幅提升量子计算机整机运行效率。

今年5月,量子计算机“本源悟空”核心部件——高密度微波互连模组在合肥完成重大突破,成功解决“一根线”的“卡脖子”问题,实现完全国产化。

量子芯片是“量子计算大脑”,需要在接近绝对零度的极低温环境中运行。高密度微波互连模组则如同“神经网络”,该模组中有一根至关重要的“线”——极低温特种高频同轴电缆。有了这根线,高密度微波互连模组既能准确传输信号,又能隔绝热量,为“量子计算大

脑”与外部设备之间的量子信息传输建立起高速、稳定的通道。

“为解决这一难题,我们与中电科40所联合攻关,研制出适用于极低温环境的高密度微波互连模组,并实现了该模组的国产化。”安徽省量子计算工程研究中心副主任、“本源悟空”量子芯片研制团队负责人贾志龙说,“这对中国超导量子计算机的产业化有积极作用。”

这款国产高密度微波互连模组可为超100位量子芯片提供微波信号传输通道,能够在极低温环境下实现微波信号的跨温区稳定传输。

今年6月,国产超导量子计算机关键设备——本源SL1000国产稀释制冷机在合肥成功升级下线,标志着中国在稀释制冷领域已达国际先进水平。

“截至8月16日,‘本源悟空’已吸引全球范围内125个国家近1400万人次访问,成功完成超25.2万个运算任务。”安徽省量子计算工程研究中心副主任、“本源悟空”云服务研制团队负责人赵雪娇对本报记者说。

## 传承 量子“马拉松”任重道远

“量子计算机怎么用?”“中国的量子计算机是怎样造出来的?”“‘悟空’为何有这么长线?”……6月1日,在本源量子的量子计算机组装与测试实验室,30多名来自合肥当地中学和小学的学生围着量子计算机群好奇发问。

当日,由安徽省少工委、安徽省量子计算工程研究中心联合举办的首次“中国自主量子计算机群开放授课活动”在本源量子量子计算机组装与测试实验室举行。少先队辅导员代表老师舒会丽和孔伟成共同向中国自主量子计算机真机为孩子们讲授了一堂生动的量子计算科普课。

“同学们,我们面前的这个‘大家伙’就是中国第三代自主超导量子计算机‘本源悟空’。它的名字来自于中国神话故事里孙悟空,传说孙悟空有72变,而量子计算机‘本源悟空’有72量子计算比特,寓意中国自主量子计算机如孙悟空般强大。这台量子计算机,是中国几代科学家奋斗数十年的结果。”

在“本源悟空”等5台中国自主超导量子计算机群前,两位老师用通俗易懂的语言向青少年解释量子计算知识,回答了中国为什么要有自己的量子计算机等问题,鼓励小朋友们从小努力学习科技知识,树立科技自立自强的志向,将来用科技报效祖国。

“安徽是中国最先开始量子计算研究及产业化的省份,在国外量子计算发达国家已开设量子计算高中课程的国际背景下,我们要积极探索中国量子计算科普教育的新方法、新路径。”赵雪娇说,“目前中国量子计算人才仅千人左右,中国未来产业的人才培养已迫在眉睫。”

从探索到研发再到传承,中国科学家们的奋斗轨迹,也是中国量子计算行业从无到有的缩影。

2016年8月,国务院印发《“十三五”国家科技创新规划》,将量子计算机纳入科技创新2030—重大项目。2021年,“量子信息”首次出现在“十四五”规划及《政府工作报告》中。这一年,教育部正式把量子信息科学纳入本科生教育,以加快量子领域人才梯队培养。越来越多的人才流向量子赛道,产业得以蓬勃发展。

在量子计算机工程之路上,中国科学家们不仅催生出一大批原创性成果,还牵头组建了国内第一家量子计算产业联盟。截至2024年7月,超100家企业、高校等机构加入联盟,涉及航空航天、大数据、先进计算、金融等领域。

时至今日,中国已牢固确立量子计算研究国际第一方阵地位,并成为世界上第三个可以交付量子计算机整机的国家。

在郭国平看来,量子计算是一门艰深的学科,目前所做的研究不过是刚刚敲开量子科技的大门,在诸多物理体系的技术突破上仍充满挑战。“这场量子计算的全球竞争,本质上更像一场马拉松,任重道远。”郭国平说。

(人民日报记者 徐靖 杨俊峰)