

科学闪光者

目前最高水准的超导量子计算机——

“祖冲之三号”的攀登之路

中青报·中青网记者 王海涵 王磊

在量子计算优越性的科研道路上，我国科学家又越过一座山峰。

近日，中国科学技术大学(以下简称“中国科大”)教授潘建伟、朱晓波、彭承志等，与合作单位构建了105比特超导量子计算原型机“祖冲之三号”，实现对“量子随机线路采样”任务的快速求解。这台机器处理量子随机线路采样问题的速度，比目前最快的超级计算机快15个数量级。

这意味着，我国继“祖冲之二号”科研突破后，再次打破超导体系量子计算优越性纪录。研究成果登上了《物理评论快报》的封面，审稿人称，“这一工作构建了目前最高水准的超导量子计算机”。

毋庸置疑，量子计算科技已成为全球瞩目的前沿研究领域。今年的政府工作报告提到，“建立未来产业投入增长机制，培育生物制造、量子科技、具身智能、6G等未来产业。”

面对全球激烈的竞争态势，上述科研团队如何攻克艰难迭代技术，有何科研管理模式创新探索，青年科研人才在其中如何发挥作用？近日，中青报·中青网记者对该团队进行了专访。

“量子优越性”领域的你追我赶

“量子优越性是量子计算强大性能的综合体现，可以验证量子力学原理在计算领域的可行性与潜力。”“祖冲之三号”总师朱晓波表示，只有实现了量子优越性，量子计算机才有可能真正发挥实际应用价值，才有可能构建出超越经典计算的应用场景。

“量子计算优越性”也是当前一个国家量子计算研究实力的直接体现。中美在该领域处于第一方阵，交替领先、你追我赶。

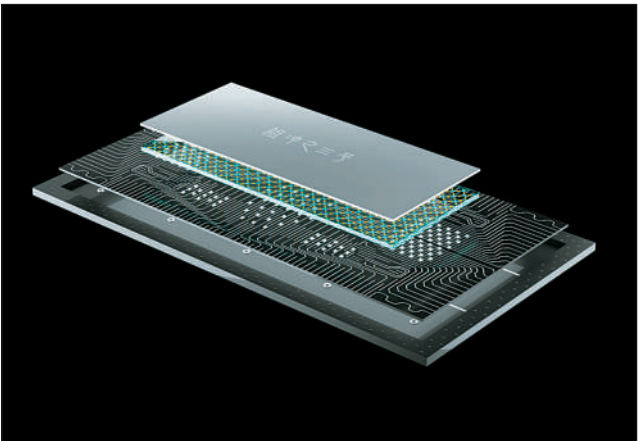
2019年，谷歌公司率先宣称实现量子计算优越性。谷歌53比特“悬铃木”处理器在200秒内完成的随机线路采样任务，用当时最快的超级计算机进行模拟需要约一万年。

一年后，以最优经典算法为比较标准，国际上首个被严格证明的量子计算优越性由中国科大在“九章”光量子计算原型机上实现。而超导体系首个被严格证明



“祖冲之三号”总师朱晓波(左一)与课题组成员讨论实验结果。

代蕊攝



“祖冲之三号”芯片示意图。

中国科大供图

的量子计算优越性，则由该团队于2021年在66比特的“祖冲之二号”处理器上实现，使得我国成为在超导和光量子两条技术路线上，都实现了“量子优越性”的国家。

2023年，中国科大演示了更先进的经典算法。同年，中国科大研发的255光子“九章三号”量子优越性超越经典超算16个数量级。2024年10月，谷歌67比特超导量子处理器“悬铃木”量子优越性超越经典超算9个数量级。

而本次研究中，团队在66比特“祖冲之二号”的基础上，大幅提升了各项关键性能指标，实现了105个数据比特、182个耦合比特的“祖冲之三号”。其中，在随机线路采样任务上，“祖冲之三号”的速度比“悬铃木”快100万倍，成为目前超导体系里“最强”的量子计算优越性代表。

“祖冲之三号”何以“最强”

朱晓波指出，目前，实现量子优越性的量子计算机主要分为两个体系：一个是光子体系，主要代表为九章号；另一个是超导体系，主要代表为祖冲之号和谷歌的“悬铃木”。

“祖冲之三号”与之前成果相比，最直观的优势与变化，是量子比特数目从66个提升到105个。朱晓波形容量子处理器就如同“超级大脑”，量子比特就像是大脑里的神经元，神经元越多，大脑能处理的信息就越复杂，也就更容易解决难题。他介绍，团队正是通过芯片架构的优

化和制造工艺的改进，才提高了量子比特的集成度和可扩展性。

此外，团队还实施多项“独门绝技”，才实现了关键性能的提升。

例如，“祖冲之三号”的单比特量子门保真度达到99.90%，双比特量子门保真度达到99.62%，读取保真度达到99.13%。朱晓波打了个比方，量子门的保真度就好比神经元之间相互传递信息的正确率，量子门的保真度越高，大脑处理信息时就越不会出错。而读取保真度，可以理解为大脑处理完信息后还需要输出，读取保真度越高，说明输出过程中出错的概率越小。

保真度的提升，则主要归功于团队在量子比特的相干时间、门操作精度和读出效率等方面的优化。

“可以将量子比特的相干时间理解为神经元能有效工作的时间，相干时间越长，意味着神经元能处理的信息越复杂。”朱晓波说，在相干时间的迭代路径上，团队不断优化量子比特的电路参数，降低其对噪声的敏感性。

量子处理器设计制造、优化量子比特和耦合器电场分布、改进控制信号传输……在朱晓波看来，在技术路径迭代道路上，类似的摸索和创新还有很多。而正是由于各类关键性能的大幅提升，“祖冲之三号”才能实现目前复杂度最高的量子随机线路采样实验，最终全面分析、评估量子计算机整体性能。

科研探索和工程化“双轨并行”

2019年至今，从“祖冲之一号”到

“祖冲之三号”，团队在短时间内实现量子比特数量与性能的跨越式提升。在朱晓波看来，这得益于科研和工程化双轨管理模式的创新，让科研人员目标更明确，合作更顺畅。

他解释，工程化管理聚焦终极目标——通用容错量子计算机，以“祖冲之二号”“祖冲之三号”及后续型号为发展主干，明确各阶段任务与分工。同时，鼓励青年科研人员围绕主干目标自由驰骋探索，在超导量子芯片设计、量子算法优化等细分领域展开创新研究，激发众人创新活力，最终将枝干的养分再汇聚到树木主干上。

团队成员、中国科大博士后查辰介绍，在大目标引领的基础上，整个团队按照工程管理方法，将量子计算机研发项目细分为多个子系统，如量子芯片、量子控制、量子软件等。每个子系统小组由不同学科背景的团队负责，定期召开跨学科交流会议，分享进展与挑战。这样便于打破学科壁垒，让各专业优势相互融合，培养既扎根科研又助力工程化的复合型人才。

团队成员、中国科大95后在读博士付元豪每次走进实验室，听到那台一层楼高的稀释制冷机发出熟悉的嗡鸣，心中总会想起前辈们说的话：“大家要抓住机遇，积极地参与到大实验项目的锻炼中，个人各方面能力会得到快速提升。”

2021年，刚进团队时，付元豪尚未完全理解这句话的分量，直到去年年底，团队调试“祖冲之三号”量子优越性实验指标，明明双比特量子门保真度已达99.6%，系统整体性能却始终未达预期。团队不同学科的同学全部行动起来，花了

两周排查，发现是控制系统的软件逻辑出了问题，导致时序同步出现几纳秒偏差。这一点看似微不足道的问题，却让整套设备成了“精致的随机数发生器”。

“与传统物理研究不同，超导量子计算并非探索自然界固有实体，而是用微纳加工技术创造‘人工原子’。这意味着，即便全球的量子团队都选择超导路线，技术细节也可能千差万别。但科研问题的关键，往往就藏在这些没有出现在文献、教科书上的细节里。”他感慨。

“大家深知量子计算研发的难度与复杂性，做足了心理准备。”查辰还记得这样一件事，彰显大伙的凝聚力与战斗力。

2024年夏天，研发正处于关键阶段，面临着—项亟待解决的技术难题——进一步提高双比特量子门保真度操作的保真度。刚开始，实验保真度几乎降至0，远低于理论预期。为此，多个分系统的团队成员主动放弃休息，纷纷从擅长的专业角度出发，经常加班至凌晨一两点，提出了数十个优化方案。最终，通过跨学科协作实现方案有机整合，大家成功发现问题根源，显著提高了保真度。

在有关单位支持下，团队在构建科学探索与工程实践深度融合的研发体系时，摸索出“理论预研—技术验证—工艺固化”的螺旋式协同机制，有效推动量子计算从实验室的前沿理论探索，逐步迈向严谨精密的工程化实践。

朱晓波拿105比特超导量子芯片这一突破举例，团队首先应用科学属性驱动创新方向，基于量子纠错算法和表面码架构的前沿研究，为芯片设计提供理论支撑，开发了钼膜工艺、量子门标定等多个科学方案。

其次是保障技术落地，团队同步将新研发的科学方案落地成规范的工程流程，从而将量子比特相干时间稳定地提升至72微秒，实现单/双比特门保真度提升。“最后，依托国家实验室平台，联合9家单位利用跨学科资源共同攻关技术难题。”

“下一步跨越”难在哪儿

每当坐在仪器屏幕前操纵着小小的量子比特时，付元豪总是忍不住展望量子芯片的前景——当未来可容错的通用量子计算机诞生时，它将会成为最锋利的矛，“刺穿”传统的通信加密方式，为世界带来颠覆性变革！

业内普遍认同，量子计算的发展主要

分“三步走”：第一阶段是实现量子计算优越性，对特定问题的计算能力超越最快的超级计算机；第二阶段是实现专用量子模拟机，相干操纵数百至上千个量子比特，用于解决经典计算机无法胜任的量子化学、高温超导机理、拓扑态等重要科学问题；第三阶段是实现通用容错量子计算机，在量子纠错的辅助下相干操纵至少上百万量子比特，用于解决经典密码破解、人工智能、材料设计、生物制药等领域的计算难题。

朱晓波坦言，第一阶段已经实现，在第二阶段，量子计算产业化的瓶颈主要在于找到真正有实际用途的场景，这意味着科研团队需要在复杂的化学模拟、量子化学等应用领域，通过实际案例来验证量子计算对生产力发展的推动作用；第三阶段，想要实现量子计算全面实用化，需要实现可容错的量子计算机。当量子比特数目拓展至百万量级时，团队需要确保各种操作的保真度不仅不会下降，反而能进一步提升。

对于这支由中青年组成的科研团队而言，未来之路，信心和压力并存。

眼下，科学层面上，“祖冲之三号”量子处理器已经能处理更复杂的量子信息，执行更复杂的量子算法，这能推动量子纠错的研究，同时推动量子化学模拟、药物研发等领域的发展。

尽管在技术路线上，团队选择了变频比特以及耦合强度可调的架构设计路线，但查辰观察到，近年来，各大团队似乎在技术上呈现趋同的进化趋势，这表明在技术发展过程中，各团队都在不断借鉴和吸纳彼此优点。

因此，“迈向下一步跨越”是个难题。朱晓波说，这包括如何构建完整的量子计算生态体系，形成从芯片制备到应用开发的一整套技术能力，“只有啃下一个硬骨头，量子计算才能从实验室走向更为深远的实际应用，贴近百姓生活”。

平时，朱晓波总是和团队年轻人念叨，作为一项具有重大战略意义的前沿技术，量子计算每一个环节都充满挑战与不确定性，从基础理论探索到关键技术突破，再到实际应用落地，绝非一蹴而就。“我们不仅要怀抱‘十年磨一剑’的科研理念，还要充分尊重科研规律，深刻理解量子科技。”

团队成员、中国科大在读博士高崇鑫将这些话牢牢记在心里。他自豪地说，量子计算对我国高水平科技自立自强必然有重大意义，作为青年科研人员，庆幸能让个人求知欲与国家需求同频共振。在参加一些课堂交流和学术活动时，他会习惯性地将这些信息传递给更年轻的学弟学妹们。

他说：“希望学弟学妹们在校期间，对量子计算、人工智能、机器人与自动化等前沿领域保持了解和兴趣，便于后期投身相关事业科研报国。希望未来能够见证第一台通用量子计算机在中国诞生！”

科学咖啡馆

AI智能体渗透生活，人机共生又快进一步？

中青报·中青网记者 张茜 实习生 刘烨

近期通用AI智能体Manus引发热议，继大语言模型火爆之后，AI智能体赛道又掀起一股热浪，人机共生的世界似乎又快进了一步。

不少业内人士提出，2025年或是AI智能体商业化应用元年。智能体通常是指能够感知环境、自主决策并执行行动以实现特定目标的系统。这并非一个新兴概念，早在2016年，AI围棋手AlphaGo便已破圈。如今，AI大模型技术升级撞上行业需求大爆炸，终于让普通人也拥有了一些AI智能体“外挂”。

智能体可以是日常生活小帮手。北京5—20摄氏度的晴天，如果问一问“中国天气小助手”智能体该穿什么，它会立即根据不同人群的需求，给出不同的穿衣方案，建议小孩穿长袖并搭配外套，而老人则最好备上薄羽绒服。

出行问题智能体也能帮忙。如果想知道带4岁小孩在贵州玩5天怎么安排，“AI游贵州”文旅智能体能够瞬间列出行程规划。该智能体还能切换多国语言为外国游客提供服务。

AI医生也上岗了。比如，浙江大学医学院附属第一医院的傅佩芬医生AI分身，可以帮患者在线答疑乳腺问题；浙江省中医院李岚医生AI分身，可以在线回复儿童呼吸道感染问题，等等。教育领域就更丰富了。目前，杭州市余杭区闲林和睦小学实践“AI批改作文”已有一年多时间，批改完作文AI还会生成批阅报告。而豆包的AI智能体英语外教Owen，已陪伴715万人次在线练习过口语了。在办公场景中，文心一言、夸克的写作助手、PPT助手等工具帮助不少人进行文案创作、PPT制作……

从天气助手到旅行规划、教育辅导，再到日常琐事的处理，科技企业似乎铆足了劲头要用AI智能体“接管”人们的生活。连高校也按捺不住，积极创建各类智能体。南开大学的师生团队目前已成功搭建8000多个智能体，涵盖活动资讯查询等多个领域；杭州电子科技大学则研发了一款24小时随时在线的AI辅导员“纽扣老师”，这位“老师”能够同时处理许多学生提出的问题。

大模型可以和人聊天，智能体却可以帮人办事。人们高兴地看到AI可以把人从一些烦杂的事务性工作中解放出来，但同时也有的质疑：决策和行动“外包”的影响全是正面的吗？当人类按照智能体的规划旅行时，未知的惊喜会不会被消解？当学生向智能体提问而非找老师，师生间的情感联结会不会被稀释？在找AI医生看病的时候，对病人负责的还是医生本人吗？

和大模型“混”熟之后，人类马不停蹄地尝试和智能体建立新“交情”。当算法逐步“接管”生活，人类需要的智能体素养又是什么？数字公民教育的课题似乎又多了一个研究方向。

图片新闻



□ 曾玉竹
中青报·中青网记者 王烨捷

日前，上海交通大学(以下简称“上海交大”)农业与生物学院研究员许文平带领团队研发出“纯品种、减农药、减化肥”效果的草莓育苗技艺，为第十届世界草莓大会展示提供核心技术，浇灌出一颗颗香味十足、色泽娇艳欲滴的“高学历、高颜值”草莓，惊艳了这场“草莓奥运会”。据悉，该项技术有望撬动数十亿元产业。

中青报·中青网记者注意到，这远远不是几颗“上海交大牌”草莓的事儿。许文平团队既是校园里的师生科研团队，又是校园外的师生合作创业团队。上海交大通过给老师“完全赋权”已经培养了3家独角兽企业，11家拟申报IPO企业。

种草莓，得用“黑科技”

“为什么经常听到大家说草莓吃不到小时候的味道了？”许文平介绍，在开放的自然界中，一个草莓品种在年复一年育苗的过程中，会不断受到微生物的侵袭，并导致品种的退化，这种退化肉眼不可见。病毒浸染是草莓品种退化的主要原因，携带病毒的退化种苗结出来的果实，相应的味道就有了变化。

而许文平团队的这项成果，就是创新草莓原种苗生产体系，让种苗摆脱病毒的“束缚”，解决品种退化难题，让草莓恢复到“小时候的味道”。

这种草莓原种苗生产体系创新，能从源头解决种苗质量不高的根本性难题，种植户再也不用因为担忧种苗长不好而用“多吃点”肥料的方式来促进种苗生长。

草莓是蔷薇科草本植物，号称“水果皇后”，属于营养价值极高的经济作物。我国草莓的生产规模位居世界第一，果品销售产值约1000亿元。然而，传统草莓种苗培育以匍匐茎育苗为主，病毒感染普遍、品种退化严重、种苗质量不高，严重制约了草莓产业的高质量发展。通过脱毒种苗组培



通过新技术加持的，正在生长的草莓。受访团队供图



团队成员在实验室里尝试各种新技术培育植物。受访团队供图



工人在许文平公司的草莓实验棚里工作。受访团队供图

和基质育苗这种新模式，可以在短时间内培育出高品质脱毒原种苗，这类种苗抗性强、成活率高，可快速规模化生产，助力草莓产业升级发展。“根据中国园艺学会草莓分会的数据测算，目前草莓种苗产业市场份额约200亿元，而该类高品质脱毒种苗市场占比不足10%，市场缺口巨大。”许文平说。

据了解，技术团队不仅将该技术运用在草莓上，也将此技术应用到百合、生姜、猕猴桃、黑莓、无花果、咖啡、半夏、党参和水生植物等植物品种的培育以及濒危植物的扩繁，为园艺种苗产业的发展提升提供了巨大的空间。

班主任和班长一起创业开公司

河北省保定市满城区段旺村种植户服务工作者王云海说，每年9月草莓种植季节一到，种植户们就要开始担忧了，“饱受根腐病、细菌性角斑等病害的困扰，种植后的苗子就开始大量死亡，亟须不断补苗，这段时间我们和种植户都会很担忧，有时候甚至整夜难眠”。

王云海说，采用了许文平团队的新型脱毒苗后，草莓苗的抗病性与耐寒性都很好，“我们服务

的100多种种植户使用该技术培育的脱毒草莓苗后，不仅减少了平时农药和肥料的使用，也使他们的亩产增加了2万—4万元收益”。

记者了解到，在上海交大的产学研创新机制支持下，许文平于2025年成立上海交盟种植生物科技有限公司。目前，该公司已与江苏、山东、浙江、广东等10余个省份的100余家企业、生产合作社合作，合作范围涵盖了几十个草莓品种。

“2025年，草莓原种苗意向客户新增200多家，这次世界草莓大会又增添了100多家意向合作企业，很多客户在草莓产业的种植年限超过10年。”同时，这项技术还被用在水草、陆地草本(包含中草药)、藤本、木本等多种植物品种上，累计植物品种数量超过60个。

值得一提的是，这家公司的创始人是“班主任+班长”组合。2021年许文平与上海交大农学院学生张文杰开展这项技术的概念验证，2025年，许文平和张文杰联合运营团队成立创业企业，正式开启“班主任+班长”的创业之旅，推动科技成果转化从实验室走向田间地头。

这一切的背后，是上海交大的“高校科技成果转化专项改革试点工作”。2020年起，上海交大作

为全国唯一试点单位，开始批量探索以“完全赋权(完成人实施)”模式进行科技成果转化。

许文平抓住了这一机遇。

打通创业路上的堵点、难点

创业之旅并不是一帆风顺，从“书架”到“货架”，农业领域的科技成果转化面临的困难和挑战更加复杂。

“对于农业科技成果转化，资本有兴趣但缺乏信心，种植企业有动力但缺少投入，科技成果的概念验证同样缺乏支持，我们曾经一度处于谷底，看不到成功转化的希望。”许文平回忆，当时学校出台了科技成果转化专项改革试点、赋权改革、科技成果转化尽职免责管理办法等政策，有了专人与他对接，在转化过程中所遇到的资金及市场难题都一一被解决。

这给许文平和张文杰打了一剂强心针，“让我们真正理解到科技成果没能转化就是最大的浪费”。为许文平服务的，是一支专业的科技成果转化团队。“职业经营团队+交大技术支撑+交大技术助攻”成了上海交大老师创业的新模式。

据悉，在上海交大，类似许文平的案例还有很多。其中最快的一项科技成果转化，仅用了一天时间就走通了全部线上审批流程。

在“完全赋权”试点中，上海交大发现，超六成教师创业企业对学校形成了正向科研反哺，不少企业还与学校共建了研发平台，联合开展人才培养，并为学生带来了大量实习和就业岗位。同时，通过作价投资、完人实施、合规整改等方式形成的“阳光科创企业”累计达191家(不含行企业)，其中独角兽企业3家、独角兽潜力企业4家、“小巨人”企业4家，11家拟申报IPO。