

潘建伟：对我国量子信息科技发展有了更大信心

“参观完展览，我很震撼，量子技术的应用已经如此广泛了，很多成果得到了转化。这让我们从事量子前沿研究的科研人员有了更大信心。”在近日于合肥召开的2024量子科技和产业大会上，中国科学院院士、中国科学技术大学（以下简称中国科大）教授潘建伟如是说。

开幕式上，潘建伟作了题为《量子信息科技发展的现状与展望》的主题报告。他表示：“我国在量子通信领域占据国际领先地位，在量子计算领域处于国际第一方阵，在量子精密测量领域部分方向处于国际领先水平。”

与此同时，他特别希望与科研院所、高校、企业的优势力量一起，推进量子信息科技关键材料器件设备的国产化研发，提升自主创新体系化能力。

应运而生的量子信息科学

从某种意义上讲，无论是能源科学、信息科学，还是生命科学、材料科学，很大程度上都得益于量子力学的建立。”潘建伟表示，量子科技革命直接催生了现代信息技术的诞生。比如，没有量子力学，就不会有半导体，也不会有现代的通用计算机；没有激光，就不会有光通信与互联网；没有原子钟，就不会有卫星定位系统。

然而，信息科技的进一步发展面临两大问题。一是信息安全传输问题。历史经验告诉人们，依赖计算复杂度的经典加密算法，原理上都能被破解。正如著名作家爱伦·坡在

100多年前所写的那样，“以人类的才智无法构造人类自身不可破解的密码”。潘建伟说：“这说明人类不够聪明，无法构造出不能被破解的密码，或者说人类太聪明，可以破解所有密码。”

另一个问题是随着大数据时代的到来，人类对计算能力的需求巨大，但是现有的计算能力却相当有限。

“非常有趣的是，量子力学在百余年的发展过程中，已经为解决这些重大问题做好了准备。”潘建伟介绍，科学家在对量子叠加、量子纠缠这类现象进行实验检验的过程中，逐渐发现对量子状态进行主动精确操控的能力，从而催生出量子信息科学。量子信息科学主要包括3个方向——量子通信、量子计算与模拟以及量子精密测量。

潘建伟表示：“量子信息技术的目标就是为构建‘量子互联网’奠定技术基础，利用量子感知获取整个物理世界的各种信息，用量子通信进行信息的安全传输，用量子计算实现信息的高速处理，形成自主可控的未来信息技术体系。”

我国量子信息科技发展现状

在量子通信方面，截至2023年，我国已实现光纤点对点量子保密通信距离安全距离突破1000公里；利用可信中继手段，我国先后建立了远距离光纤量子保密通信骨干网“京沪干线”、国家广域量子保密通信骨干网。2016年8月，世界首颗量子科学实验卫星“墨子号”成功发射，在国际上率先实现千公里级星地量子通信。“墨子号”结合“京沪干线”，构建了全球首个天地一体广域量子通信网络的雏形。

在量子计算方面，国际学术界

公认有3个里程碑阶段，一是实现量子计算优越性，即量子计算机对特定问题的计算能力超过超级计算机；二是实现专用量子模拟机，用于解决若干超级计算机无法胜任的实用问题，同时突破量子纠错技术；三是将量子比特的操纵精度提高到超越容错阈值的水平上，相关操纵至少达到百万个量子比特，实现可编程的容错通用量子计算机。

2020年，中国科大研究团队设计和构建了76个光子的量子计算原型机“九章”，这是国际上首个被严格证明具有“量子计算优越性”的工作。2021年，113个光子的量子计算原型机“九章二号”诞生，处理速度比超级计算机快100亿倍。

2023年，255个光子的量子计算原型机“九章三号”面世，处理速度比超级计算机快1亿倍。

“正在测试中的‘九章四号’已超过2000个光子，计算能力将更强。”潘建伟透露。

此外，中国科大研究团队先后构建了62个比特的“祖冲之号”超导量子计算原型机、66个比特的“祖冲之二号”超导量子计算原型机，使我国成为目前唯一在两种物理体系上都实现了“量子计算优越性”的国家。

12月17日，潘建伟团队构建的“祖冲之三号”超导量子计算原型机公布在arXiv上。“祖冲之三号”处理随机线性采样的速度已超过目前最快的超级计算机“前沿”1000万倍，超过谷歌今年10月发表于《自然》的最新进展——72比特的“悬铃木”处理器6个数量级，为目前公开发表的超导量子计算最强优越性。

在量子纠错方面，最近，谷歌

利用105比特超导量子处理器“悬铃木”，初步验证了表面码方案的可扩展性。据了解，“祖冲之三号”处理器各项性能指标与谷歌“悬铃木”处理器相当，潘建伟团队正基于“祖冲之三号”开展相关工作，将实现更大规模的表面码纠错。

“当前的主要研究任务是研制专用量子计算模拟机，用于解决量子化学、高温超导机理等重要科学问题。”潘建伟说，他们已经在这一方面取得了重要进展，如2024年成功构建了求解费米子哈伯德模型的超冷原子量子模拟器“天元”，首次展现了量子模拟在解决经典计算机无法胜任的重要科学问题上的巨大优势。

“要真正实现通用容错量子计算机，至少还需10余年甚至20年时间。”潘建伟说，要实现通用容错量子计算机需要相关操纵至少上百万量子比特，目前量子计算的研究重点之一就是突破量子纠错技术，为量子比特的大规模集成和操纵铺平道路。

在量子精密测量方面，如在时间标准上，中国科大研究团队扮演了重要角色，研制出70年误差率不超过一秒的光钟，使我国成为继美国之后第二个达到该综合指标的国家。

力争在国际科技竞争中抢占先机

展望未来，潘建伟认为，在量子通信方面，量子中继连接的城际量子通信网络，经过10年左右的发展可走向实际应用；基于卫星平台的远距离量子通信，将通过多颗微纳量子卫星构成的“量子星座”以及具有更长过墙时间的中高空轨道卫星，实现高效率的量子卫星网络，从而构建完整的天地一体广域量子通信网络体系。

广域量子通信网络为精密测量提供了全新平台。“2027年前后，中高轨量子卫星将具备发射条件，可以实现万公里级量子纠缠分发。这将带来有意思的应用，例如可以构建一种非常精确的望远镜——量子增强的光学合成孔径望远镜，大幅提升空间分辨能力。”潘建伟说。

潘建伟希望，通过10至15年的努力，研制出精度达到10⁻¹⁸的高精度光钟，这相当于10万亿年误差率不超过1秒，它将作为探测中低频段的引力波、搜寻暗物质等物理学基本原理的检验提供全新手段。

在量子计算方面，谷歌、IBM以及英国和法国政府都提出在2035年前后实现100万个量子比特相当规模的目标。“我国正在编制的国家量子科技相关规划中，也提出了同样的目标。”潘建伟说，未来3至5年，将实现数千至上万个量子比特的相当规模，解决若干超级计算机无法胜任的具有重大实用价值的问题；在未来10至15年，将在量子纠错基础上相关操纵上百万量子比特，研制具备基本功能的容错通用量子计算机，探索对密码分析、大数据分析等的应用。

“在量子信息科技领域，我国和美国等世界强国站在了同一起跑线上，它是国际科技竞争中我国最有条件、最有基础、最有可能拔得头筹和抢占先机的重要科技领域。”潘建伟表示，“在国家的战略部署下，我们有信心、有决心、有能力保障我国在日趋激烈的量子信息科技国际竞争中保持和扩大领先优势，赢得发展主动。”

（原载于《中国科学报》

2024年12月20日头版 记者 王敏）

从“庄稼人”到“神算子”，陈国良院士的24字人生路



陈国良，并行算法和高性能计算专家，中国科学院院士，首届国家级教学名师，中国科学技术大学教授，国家高性能计算中心（合肥）主任，大数据系统计算技术国家工程实验室负责人。

1938年出生在安徽颍上，1956年考入交通大学电力系，1958年转入无线电系计算数学与计算仪器专业。1961年毕业后从军入伍，1965年转业到太原785厂，1973年到中国科学技术大学任教。主要从事并行算法、高性能计算及其应用领域研究，是我国非数值并行算法研究的学科带头人。曾获国家科技进步奖二等奖、国家级教学成果奖二等奖、教育部科技进步奖一等奖、水利部大禹水利奖、安徽省重大科技成就奖、中国计算机学会终身成就奖等。2003年11月当选为中国科学院院士。

中国科学院院士陈国良是我国非数值并行算法研究的学科带头人，也是我国首届国家级教学名师获得者。他这样概括自己的人生经历，“亦工亦农，亦文亦武，亦强亦弱，亦硬亦软，亦虚亦实，亦东亦西”。

这短短的24个字何解？亦工亦农——18岁农村和8年工厂经历；亦文亦武——早年当了4年兵，此后大半辈子都从事教学和科研工作；亦强亦弱——大学前期学习强电专业，后期学习弱电专业；亦硬亦软——参与了我国三代计算机硬件的研制工作，又从从事并行计算软件的设计与开发；亦虚亦实——不仅做计算机科学的理论研究，还服务国民经济主战场；亦东亦西——在东西方国家奔走，开展并行计算领域的学术交流。

艰难求学，成为国内培养的第一届计算机专业学生

20世纪30年代末，陈国良出生在皖北的一个小村庄——安徽阜南陈大圩村。当时正值日本侵略军轰炸颍上，家人将刚出生不久的陈国良藏进了芦苇荡中，方才躲过日军的扫荡。与此同时，花园口决堤，黄河水“夺路入淮”，颍上县境内全部受灾。陈国良一出生就遭遇了双重灾难。

像生活在此的庄稼人一样，陈家世代农耕。陈国良从小就与草木牛羊为伴，嬉戏于田埂村巷，虽属农舍，但别有一番乐趣。在这样的环境里，陈国良对农活非常熟悉，犁地、播种、收割样样都会。

1945年，陈国良到了上学年纪。陈国良的外公是名老中医，为人开明，他认为应该送陈国良去读“洋学堂”而不是私塾，这样才能接受新式教育。

在小学里，陈国良全面发展，各科成绩均优。他曾代表陈大圩小学参加每年一次的多镇各小学统一会考并一举夺魁。在颍上县解放后的第一个儿童节，陈国良还曾作为代表在全镇庆祝大会上演讲。

1951年春，陈国良考入颍上县立中学第一屆春季班，提前进入初中。学校离家20多公里，陈国良只能住校，由于经常交不够每月的伙食费，只好自己带干粮度日。尽

管生活艰苦，陈国良仍积极参加校园文化活动，包括合唱团、集体舞等，还在运动会上获得过掷手榴弹项目第二名。

1953年，因成绩优异，陈国良仅读了两年半初中就再次提前毕业。他本意报考师范学校以尽快出来工作减轻家庭负担，没想到因为中考成绩优异被凤台中学提前选中。凤台中学教导主任刘式汉为陈国良争取到每月4.5元的生活补助，才让他勉强上得起学。

1956年陈国良高中即将毕业，在填报志愿时他仍想报考师范院校，但在班主任李超群老师的建议下，改为报考交通大学，并顺利考入交通大学电力系工业电气化专业。到校不久即被转校西迁到西安。

在工业电气化专业就读期间，陈国良对电机工程专家钟兆琳先生的电机学等大师课。他还曾到发电厂、电机厂、高压及配电站现场实习，接受了严格的工程实践训练，体验了工地和车间的生活。

1958年底，学校新办计算机专业，抽调在校生就读，陈国良因劳动表现优异被列入其中，成为国内培养的第一届计算机专业学生。

在大学里，除了接受良好的专业基础课教育外，陈国良还参与了老师领导的第一代电子管计算机硬件的研制工作。该校是仿制美国LGP-30的小型通用磁鼓数字计算机。陈国良主要学习了LGP-30控制器的设计，这让他迈进了“数字计算机逻辑设计”领域，受益匪浅。

几经坎坷，36岁站上讲台

成为一名教师是陈国良年轻时的志愿。在实现这个心愿之前，他经历了4年部队生活和8年工厂生活。1961年，陈国良从西安交通大学毕业后被分配到部队。当年10月他到宁夏银川市参加集训，之后正式到中国人民解放军炮兵科学技术研究院工作。一名大厨带领着包括

陈国良在内的3名刚毕业的大学生，组建了火炮指挥仪研制筹备组，开展了火炮数字指挥仪的前期研究。

1962年下半年，陈国良被派到广州军区炮兵司令部工作。他以军代表身份参加了广州军区炮兵司令部委托中山大学研究火炮指挥仪的项目。在中山大学，陈国良主持了采用磁芯存储器和晶体管、硅晶体以及从苏联进口的分立元件晶体管数字计算机的设计和研制工作。该机是我国自主设计、具有自主知识产权的军用分立元件晶体管数字计算机。

从广州军区回到北京不久，陈国良又被下放到福州军区锻炼。作为一名“计算机兵”，陈国良驻扎在海边的山头上，负责借助收集的气象数据计算射击诸元，然后传送给前线炮阵地控制火炮发射。闲暇时间，陈国良主动教授部队的战士文化知识，并因此获得了部队的嘉奖。

1965年，全军13万名科研人员集体转业到地方。陈国良被分到太原785厂的设计所，成为工厂大家庭中的一员。1968年，陈国良参与研制了“东方红一号”数字指挥仪，该指挥仪位于吉林省白城市的国家靶场顺利通过靶区试验。同年，陈国良参与研制的双37高炮指挥仪也顺利武装到部队。

不过，当时的大环境让他们的业务工作无法继续开展，陈国良开始和情报资料室的工作人员一起翻译英文专业书籍，陆续翻译并出版了《晶体管开关电路的设计和应用》《逻辑设计手册》《逻辑电路手册》等。

这段从军队到工厂10余年的不凡经历，对陈国良后续的科学生涯有深刻的影响。军旅生活让他养成了遵守纪律、艰苦朴素等好习惯，更让他认识到科技研究应以实践需求为导向。而工厂生活则提升了陈国良动手能力，让他真切体会到

何为“工匠精神”。

1970年10月，中国科学技术大学（以下简称中国科大）南迁至合肥办学。搬迁过程中，学校图书、器材等受损，师资力量不足。但对于陈国良来说，这正是一个“机缘”，加之对安徽故土放牧的向往，他决定调往中国科大。

从工厂到学校，在那个年代无疑是“不明智”的，但陈国良仍然作了这一“冒险”的决定。1973年8月，申请调动成功的陈国良到中国科大“六系”——无线电电子学系担任助教，在36岁这一年实现了自己十几岁时梦想从事的职业。

进入中国科大后，陈国良面临诸多困难和挑战。首先是学校第一届工农兵学员的教学任务。由于身份特殊，这批学员知识水平参差不齐。鉴于此，陈国良将他任在太原785厂的工作经历转化为课堂上的操作实践，在1974年到1975年期间带领工农兵学员成功研制出中小规模集成电路的KD-3小型计算机，该机在当时被用在中国科大的教研工作中。

其次，陈国良担任了专业英语课程的教学。由于此前并未专门学过英语，陈国良有小小的压力。但他并没有轻易放弃，机缘巧合之下，与外语系两位老师结成“互助学习小组”——他教两位老师打太极拳，两位老师教他英语。为此，陈国良常常扛着一台老式录音机，日里学、夜里练，英语水平很快得到了外语系专业老师的认可。

之后，陈国良一直保持学习英语的习惯。除了基础英语外，他还特别学习了计算机专业英语，大大小小的笔记本记了几本。

在中国科大讲课不久，陈国良的课堂就被列为示范教学，他也被评为优秀教师，奖励了一个公文包。这个包陈国良缝缝补补使用了30多年，成为他执教生涯的最好见证。（下转4版）