

量子计算，到底如何计算？

原创 何曦悦 半月谈 2025年04月19日 12:14 北京



半月谈

“中华第一刊”《半月谈》官微，每天帮你分析政治、经济、商业大事，解读社会发展，品...

7112篇原创内容

公众号

*本文为《半月谈》2025年第7期内容

从谷歌的“垂柳”到中国的“祖冲之三号”，量子计算的新突破总能登上科技进展的头条。打开新闻一看，“比特”“纠缠”……都是些啥？量子计算，为什么这么重要？“量子计算原型机”，为啥不能把“原型”两字省掉？

当然不能省。要理解量子计算，我们的故事就得从原型机讲起。自然，更好的方式，是从中国科学家的最新突破，“祖冲之三号”讲起……



点火：原型机新启航

祖冲之，中国古代最伟大的数学家之一。量子计算界的“祖冲之”，本事同样不小。

3月3日，中国科学家发布了他们成功构建的目前最高水准超导量子计算机——105比特超导量子计算原型机“祖冲之三号”，处理“量子随机线路采样”问题的速度比目前国际最快的超级计算机快千万亿倍，再次打破超导体系量子计算优越性世界纪录。



“祖冲之三号”芯片示意图

原型机？对，就是尚在实验阶段的量子计算机，它究竟和成熟的量子计算机有何不同？

量子计算原型机能够验证量子比特的叠加、纠缠等核心特性，在某些特定任务上已经展现出超越经典计算机的潜力，科学家尤其看重的，是它可以作为探索如何构建规模更大、更稳定的量子系统的平台。我们常看到汽车厂商隔三岔五推出惊艳炫目、不过暂时还无法量产的“概念车”，量子计算原型机也是这样的存在。

如果把量子计算比作人类迈向浩瀚星宇的“三级火箭”，那么量子计算原型机就是第一级引擎的“点火实验”。它还做不到直接登陆月球，但可验证某一技术路径能否挣脱经典物理的“引力”束缚，冲向计算能力的深空。这是通向通用量子计算机的必经之路。

目前，驱遣量子系统高速计算，还面临着退相干、噪声干扰和量子纠错等挑战。科学家必须不断优化量子比特的设计，改进冷却和隔离技术，设计更加高效的纠错算法，才能让原型机日益成熟。这一阶段，就像对概念车进行严苛的道路测试和安全认证，只有通过层层考验，才能逐步改进设计，迎来批量生产。

值得说明的是，眼下一些量子计算产品尽管已试水商业市场，究其本质仍是原型机，实际使用时仍然受限于量子比特的数量和错误率，计算能力还无法全面超越经典计算机。

试炼：如何优化闯关

如今我们已经习惯乘坐高铁高效出行，但是不要忘了，历史上蒸汽机车曾经比马车还要慢。如果说火车“改朝换代”的时刻，可以从蒸汽机车速度第一次超越马车算起，那么在量子计算的演进史上，大家关注的指标，就是“量子计算优越性”——量子计算机在特定的问题求解上，表现出超越经典计算机的能力。

2019年，谷歌的“悬铃木”超导处理器首次宣称实现量子计算优越性，仅需200秒，就能解决当时世界上最快的超级计算机需要1万年才能完成的运算。这就像是计算世界的武馆，迎来了第一位踢馆的少年。一年之后，中国科学技术大学团队构建了76个光子的量子计算原型机“九章”，使我国成为第二个实现量子计算优越性的国家。2021年，中国团队凭借“祖冲之二号”反超“悬铃木”，2024年谷歌再度刷新纪录，而近期发布的“祖冲之三号”以更优性能重夺领先地位。

全球顶尖团队巅峰对决，你追我赶，但并非跨过了量子计算优越性的门槛就万事大吉了。现阶段的量子计算优越性实验，就像是专家们为量子计算机量身打造的“考卷”，它们非常适合量子计算设备发挥潜力，包括“随机线路采样”“玻色采样”等，但可惜，还没有太多实用价值。目前科学界的共识是，一台能求解有实用价值问题的超导量子计算机，需要有上百万个量子比特。

为何需要这么多比特？是因为量子计算理论上所说的比特，是指完美的、不会发生任何错误的比特，专业上称“逻辑比特”。然而现实中的东西总是不完美的，目前各类量子计算机原型机中的量子比特也是这样，它们叫做“物理比特”，极易受噪声影响。

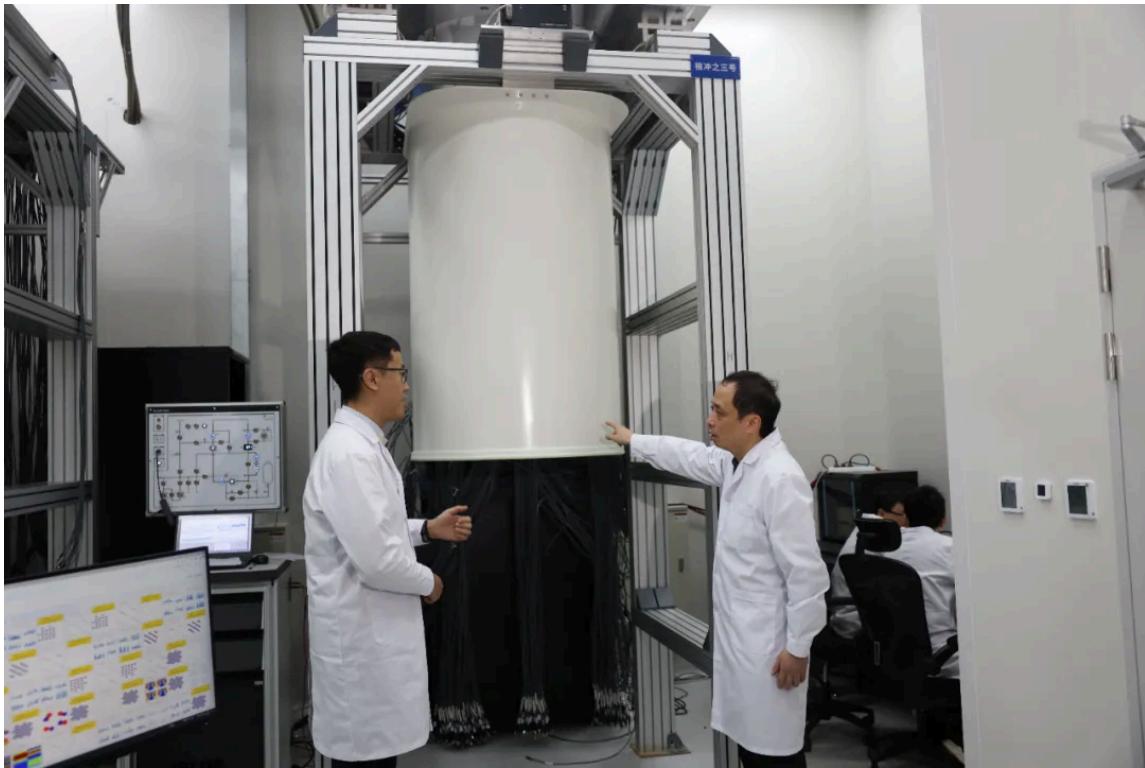
因此，量子纠错这一重要课题就出现了，简单来说，就是“增加冗余的量子比特数”，通过把多个物理量子比特编码为一个逻辑量子比特，实现纠错。物理量子比特越多，就越能降低错误发生率。

你可以把量子比特想象成一群容易跑调的合唱团员。如果只让一个量子比特独唱，遇到干扰稍一走调，整首歌就毁了。而量子纠错就像让几人一组齐唱同一句歌词：即使其中一人跑调，剩下几位的正确音高仍能纠正错误，让整体旋律保持和谐。

不消说，为了纠错，需要充足的物理量子比特。而且，要想逻辑量子比特表现得比物理量子比特更优异，本身要求物理量子比特的出错率低于一个特定的值，不然只会“越纠越错”。再怎么说，合唱团也不能招五音不全的团员啊！

中国的“祖冲之三号”除了量子计算优越性取得新突破，在量子纠错方面也颇有进展。中国科学技术大学教授、“祖冲之号”量子计算原型机总设计师朱晓波介绍，今

年，团队正在开展码距为7的表面码纠错研究，希望接下来能扩展到9乃至11，为实现大规模量子比特的集成和操纵铺平道路。



“祖冲之号”量子计算原型机总设计师朱晓波（右）与学生讨论制冷机状态 代蕊 摄

远眺：通用计算风起

20世纪30年代，“图灵机”的概念被提出，10年之后，世界上第一台通用计算机诞生。当时的人们面对着这台占地面积150平方米、总重量约27吨的笨重大家伙，可能很难想象，它会带领人们步入产业革命的新纪元——信息时代。

如今离实际应用尚还遥远的量子计算原型机，正是下一个纪元的种子。目前，全球科学家各显神通，不同技术路线可谓千帆相竞。超导量子、光量子、离子阱、半导体量子点、中性原子……也许我们还不能确定通用量子计算机会从哪一条赛道脱颖而出，但目前最受关注的，是超导和光学体系两家。

超导量子计算作为一种固态量子计算方案，具有可扩展性好、量子比特相干时间长、操作速度快、保真度高等众多优点，技术路线相对成熟，易于利用现有半导体、超导工艺设备制造和集成。但它依赖极低温环境运行，纠错与噪声抑制目前表现也不理想，仰赖大量冗余和复杂的纠错算法才能实现容错计算。

光量子比特具有不怕干扰的特性，能够在室温环境下可靠地执行计算，但是由于光子间相互作用过于玄妙，难以执行复杂量子门，目前看只适合专攻特定问题。

值得欣喜的是，中国是眼下全球唯一在超导和光量子两条路线都实现了量子计算优越性的国家，离子阱、超冷原子等多条技术路线也是生机勃勃。

诚如潘建伟院士所言，量子信息技术还需要长期发展，一个积极、理性且促进合作的环境是必要的。新一轮量子革命需要耐心催化，而“祖冲之三号”的里程碑，或许只是序章。

通用量子计算的星火燃起之际，世界会焕发出新的光彩吗？这是一件值得期待的事。

半月谈记者：何曦悦



科技新知

关注漫谈锐科技



漫谈锐科技 18

漫谈锐科技 · 目录

[上一篇 · 高温超导，这次“高”在哪里？](#)