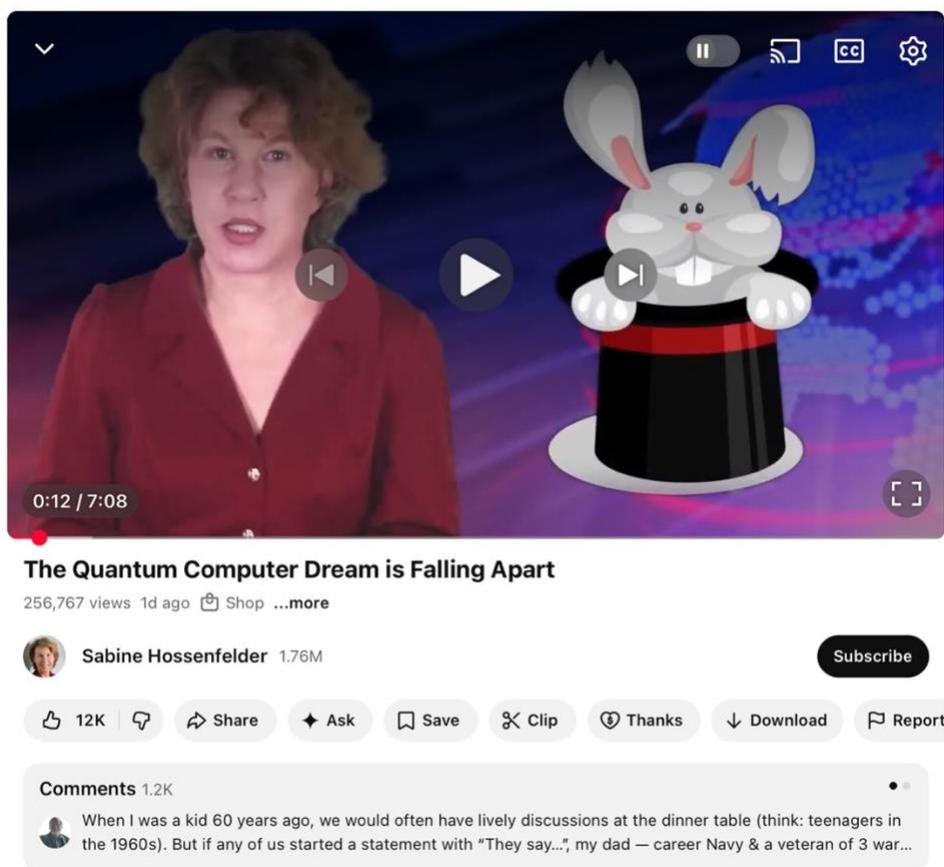


量子计算机梦碎一地

文 | 徐令予

去年年底，科普视频博主 Sabine Hossenfelder 发布了一条标题颇为“扎心”的视频：《量子计算机很可能永远不会成功》，该视频在网上引发了热议。不到两个月，她再次抛出同一主题的新视频——《[量子计算机梦碎一地](#)》，对量子计算的炒作泼了一大盆冷水。一位受过严格学术训练的理论物理学家，在短时间内两次针对量子计算机“唱反调”，这事件的本身就非同寻常。



一如既往，这条视频发布后迅速引发热烈关注。不到 24 小时，播放量已突破 25 万，点赞 1 万多，评论 1 千 2 百条。围绕“量子计算是否被过度神话”的争论，再次被推到公众视野中央。与上一次一样，我也决定跟进再做

一次解读与评论：延续此前文章的结构，对视频中涉及的四个主要观点逐一拆解，并在文末附上本次视频的中英文脚本，方便读者对比查证。

关于 Sabine Hossenfelder 本人的学术背景与长期立场，本文不再重复，感兴趣的读者可参考[我上一篇相关文章](#)[1]。需要强调的是，视频中提出的核心判断，并非播主的个人臆测，而是均有相应研究论文作为支撑。相关论文出处列于文末的附录部分，便于有兴趣的读者进一步查阅与学习。

Sabine 在视频一开始抛出了一个颇具画面感的比喻：量子计算的发展，更像是一场魔术表演。随着研究不断推进，原本被寄予厚望的应用场景却在“蒸发”。先是“兔子”消失了——那些被反复宣传的具体用例逐一失效；接着连“帽子”也消失了——支撑这些用例的技术叙事与商业想象开始站不住脚；最终，“观众”也离场了——投资者、媒体与公众的热情逐渐退潮。这个段子把量子计算的现状和归宿描述得惟妙惟肖，戏剧感十足。

一、“量子优势”正在消失：经典计算的反击

量子计算常被宣传为能够在某些问题上超越传统计算机，这一说法在理论上并非毫无依据。然而，相关研究指出，量子计算并不是在与“停滞不前的经典计算”竞争；恰恰相反，经典计算体系本身正在以工程师式的速度持续进化，原本被视为“量子专属”的问题空间，正被一点点蚕食。

一个具有代表性的例子来自量子化学领域。复杂分子体系的精确模拟曾长期被视为量子计算最有希望率先“变现”的应用场景，其中尤以参与固氮反应的 FeMo-cofactor 分子为典型。该体系结构复杂、电子关联效应强，早期研究普遍认为其超出了经典计算的可行范围。然而，加州理工学院的最新论文[2]指出，借助大规模经典计算集群与改进的量子化学数值方法，人们已经能够以相当高的精度计算该分子的基态能量。换句话说，这个曾被当作量子计算的强项，正在被经典计算夺回。

相关基础研究表明，对于多个用于测试量子算法潜在优势的任务，经过精心优化的经典算法，往往能够达到与量子算法相当甚至更优的性能表现；而现实中的量子硬件仍处于噪声较大的 NISQ 阶段，其规模与稳定性不足以支撑理论模型中所假设的算法优势。更为根本的是，人们常常将“理论上的复杂度优势”直接等同于“现实中的工程可实现优势”，但相关综述指出，误差

率、纠错开销、系统稳定性等工程约束，足以吞噬掉理论模型中承诺的绝大部分优势。

二、TSP 问题给量子计算泼了冷水

在量子计算的应用叙事中，组合优化问题，尤其是旅行商问题（TSP, Travelling Salesman Problem）长期被当作“量子计算有望显著超越经典计算”的典型代表。这类问题在物流调度、路径规划、金融组合优化等领域都具有直观的映射，因此也被认为量子计算会在金融商业领域大展拳脚的实证。

然而，相关综述论文[3]系统回顾了过去二十余年围绕量子算法求解组合优化问题的研究进展，结论相当冷静：几乎没有证据表明，纯量子方法在实际规模上能够稳定优于当前最先进的经典算法，即便在规模较小的问题上，这种优势也难以成立。换言之，量子计算在这一领域的“潜在优势”，更多停留在理论构想或小规模演示层面，而尚未转化为可复现、可推广的工程能力。

从工程与应用的角度看，组合优化问题在真实场景中的难点，往往来自复杂约束与问题结构本身。相关研究指出，经典计算体系在这一领域经过长期积累，已经形成高度成熟的工程化解决路径；在此背景下，量子算法若无法提供明确且可扩展的优势，便难以在现实应用中体现出真正的替代价值。这也意味着，将旅行商问题等组合优化任务反复作为量子计算的“示范场景”，更多是一种宣传策略而已，对理性评估量子计算应用前景没有什么科学价值。

三、没有“晶体管时刻”：量子计算的工程困境

在量子计算的宣传中，一个常见的类比是“量子计算正在迎来自己的晶体管时刻”，暗示其即将像半导体产业那样进入可规模化、可商业化的快速发展阶段。然而，相关工程评估指出，这种类比在根本上并不成立。微电子产业的成功，并非源于某一次理论突破，而在于晶体管可以持续缩小尺寸、降低成本，并在规模化制造中实现良性循环；而量子计算的核心成本结构，与这一模式几乎相反。

从系统工程角度看，量子计算的主要成本来源包括极端低温制冷、复杂控制电子设备以及对噪声的严格隔离。相关研究表明，这些成本并不会随着量子

比特数量的增加而呈现出类似半导体产业那样的规模递减效应；相反，系统规模越大，工程复杂度往往呈超线性增长。

这意味着，即便量子比特质量持续改善，构建和维护大规模量子系统的经济门槛仍将长期居高不下。更现实的判断是，量子计算的工程形态更接近于大型科研装置，而非可广泛复制的通用计算平台。在这一工程约束之下，将量子计算视为“下一代通用算力平台”的产业叙事，显然缺乏事实依据。

四、算得快 ≠ 算得便宜：能耗与总体成本的现实约束

在量子计算的技术叙事中，人们往往强调其在某些任务上的潜在加速能力，却很少讨论一个更“现实主义”的问题：即便量子计算在时间复杂度上具备优势，是否意味着整体计算成本也更低？相关系统层面的资源评估指出，这一推论并不成立。

构建具备容错能力的大规模量子计算系统，需要极端低温制冷、复杂的控制与读出电子设备，以及为纠错而引入的大量冗余物理量子比特。相关研究表明，这些系统级需求将直接转化为可观的能耗与运行成本；在某些估算模型中，具备实际计算能力的量子计算装置，其总体功耗可能接近甚至超过同等级超级计算中心。

更重要的是，量子算法的输出往往依赖统计测量过程。为了获得足够精度，实际计算中通常需要进行大量重复运行，这在一定程度上抵消了单次运算加速所带来的时间优势。相关分析指出，在真实工作负载下，量子计算的“单位问题成本”未必优于成熟的经典高性能计算体系。

从产业可行性的角度看，这一约束具有直接影响。即便量子计算在个别任务上展现出技术优势，如果其总体能耗与运行成本长期高于现有解决方案，其应用空间也将不可避免地受到限制。在能源成本与算力需求同时高企的背景下，将量子计算视为“天然更高效的下一代算力平台”，显然缺乏足够的工程依据。

结尾

当量子计算被反复包装成“下一代通用算力革命”时，问题从来不在于物理是否正确，而在于工程技术叙事是否诚实。经典计算的反击、组合优化神话

的退潮、工程成本与能耗的天花板，都在不断提醒我们：量子计算不是万能钥匙，更不是近在眼前的产业替代方案。

或许，真正成熟的技术叙事，恰恰始于对幻想的告别。量子计算不会消失，但它需要回到一个更现实的位置——抛弃一心想当高大上主角的梦想，甘心尽愿地做一个低调的小配角，发挥自身真正擅长的微薄之力，如果它还真有那么一点的话。

视频的评论区十分热闹，对量子计算炒作的冷嘲热讽达到了极致。评论者反复提及的台词是：“It’s optimism, but error-corrected.” 这句话在英语语境中带有典型的“理工圈内梗”意味，其中的 error correction 还暗指量子计算中代价高昂的量子纠错。表面上看，它像是在说“这是乐观的结论，只不过经过了误差纠正”；但真实语义恰恰相反：在把过度乐观的部分“校正”掉，并将噪声、纠错开销和工程约束一并计入之后，所剩下的那点“乐观”，已经接近悲观本身。这不是情绪化的唱衰，而是对量子计算未来的精准判断。

附录 A: 视频完整脚本 (English - Clean Text Version)

As research progresses, the use cases for quantum computers seem to evaporate.

It’s like a magic show: first the rabbit disappears, then the hat disappears, and eventually even the audience disappears.

Quantum computers are often advertised as being able to solve problems that are too hard for ordinary computers.

They are supposed to get their power from quantum entanglement.

In principle, this could lead to speedups for certain problems in chemistry, materials science, logistics, cryptography, and finance.

However, things are not developing the way they were advertised. One example is quantum chemistry.

The simulation of complex molecules has long been considered one of the most promising applications for quantum computers.

A well-known example is the FeMo-cofactor involved in nitrogen fixation.

But recent research shows that classical computing clusters can now calculate the ground-state energy of this molecule with high accuracy.

This means that finding practical quantum advantage is much harder than many people thought.

Another often-cited application is combinatorial optimization, such as the travelling salesman problem.

But a recent review of more than two decades of research concludes that there is little evidence that purely quantum approaches outperform state-of-the-art classical methods, even for small problem sizes.

The authors conclude that there is little cause for optimism.

On the hardware side, progress is real.

There have been demonstrations of quantum error correction on small systems, and qubit quality has improved.

But this is sometimes misleadingly compared to the “transistor moment” of classical microelectronics.

The success of microelectronics was not mainly due to a conceptual breakthrough, but because transistors became smaller, cheaper, and easier to manufacture.

For quantum computers, the main cost drivers are cryogenic cooling and noise isolation.

These costs do not scale down in the same way when systems grow larger.

Another issue that is often overlooked is energy consumption. Large, fault-tolerant quantum computers that can solve useful problems may require as much power as entire supercomputing centers, possibly even more.

So even if quantum computers can be faster for certain tasks, they may not be cheaper in terms of overall resources.

Finally, quantum computers often require many repeated measurements to obtain reliable results.

This further increases the total computational cost.

So while quantum computing remains scientifically interesting, the dream of a general-purpose, economically scalable quantum computer is becoming increasingly questionable.

附录 B: 视频中文完整脚本 (机译)

随着研究不断推进, 量子计算的应用场景似乎正在逐渐蒸发。

这就像一场魔术表演: 先是兔子消失了, 接着帽子消失了, 最终连观众也可能离场。

人们常常宣传量子计算机能够解决普通计算机难以解决的问题。

据说它们的优势来自量子纠缠。

在原理上, 这确实可能为化学、材料科学、物流、密码学和金融等领域的某些问题带来加速。

然而, 现实进展并未按照最初的宣传路线发展。

以量子化学为例, 复杂分子的模拟长期被认为是量子计算最有希望率先取得突破的应用方向。

其中一个广为人知的案例, 是参与固氮反应的 FeMo-cofactor 分子。

但最新研究显示, 借助经典计算机集群,

人们已经能够以较高精度计算该分子的基态能量。

这意味着, 寻找真正具有实用价值的“量子优势”, 远比许多人原先设想的要困难得多。

另一个经常被提及的应用方向是组合优化问题, 例如旅行商问题。

但一项回顾了二十余年研究进展的综述指出,

即便在规模较小的问题上, 也几乎没有证据表明纯量子方法能够稳定优于当前最先进的经典算法。

论文作者的结论相当直接：几乎没有理由保持乐观。

在硬件层面，量子计算的进展是真实存在的。
小规模量子纠错已经得到实验演示，量子比特的质量也在持续提升。
但这些进展常被不恰当地类比为量子计算迎来了“晶体管时刻”。

微电子产业的成功，并不主要源于概念上的突破，
而在于晶体管不断缩小尺寸、降低成本并实现规模化制造。
相比之下，量子计算的主要成本来自极端低温制冷和噪声隔离，
这些成本并不会随着系统规模扩大而呈现出类似的良性缩放规律。

另一个常被忽视的问题是能耗。
真正具备容错能力、能够执行实际任务的大规模量子计算机，
其耗电量可能接近甚至超过整个超级计算中心。
因此，即便量子计算在某些任务上更快，
从总体资源成本来看，也未必更“划算”。

此外，量子计算往往需要大量重复测量才能获得可靠结果，
这进一步抬高了实际计算成本。

因此，量子计算在科学研究层面依然具有重要意义，
但将其视为一种可广泛推广、具有经济可扩展性的通用计算平台，
这一梦想正变得越来越值得怀疑。

附录 C:

[1] 徐令予：量子计算机很可能永远不会成功

<https://mp.weixin.qq.com/s/I8Lwuz2Rv3mPBpW93K503Q>

[2] Li, Z., et al. “Accurate electronic structure of FeMo-cofactor with classical high-performance computing.” arXiv preprint (2024).

[3] Glover, F., Kochenberger, G., & Du, Y. “Quantum computing and combinatorial optimization: A review.” arXiv preprint (2023).

徐令予 作于美国南加州 (2026年2月18日)