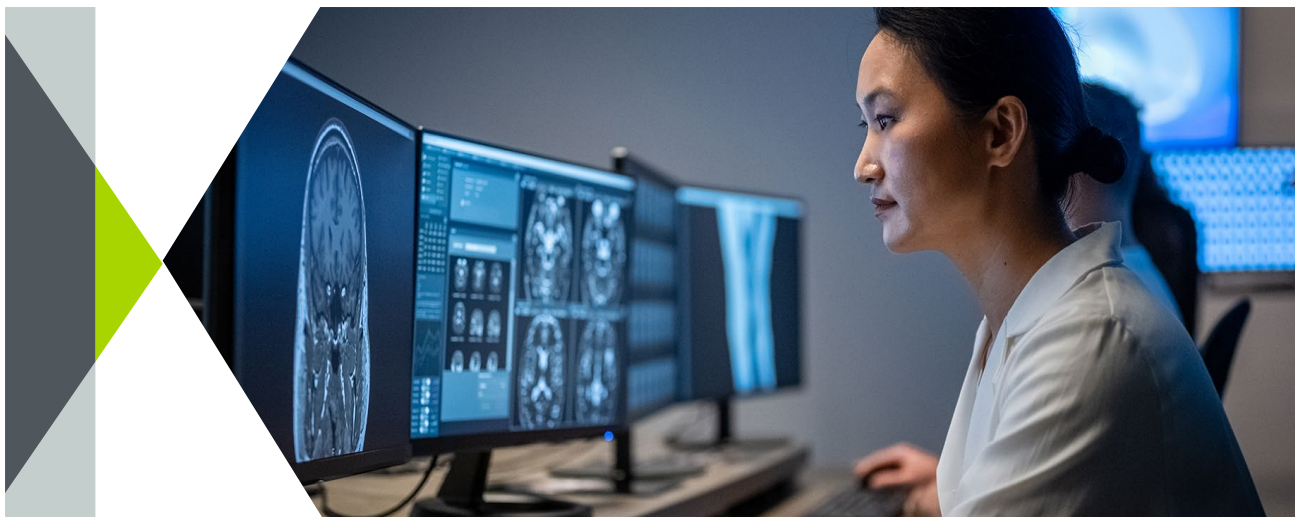




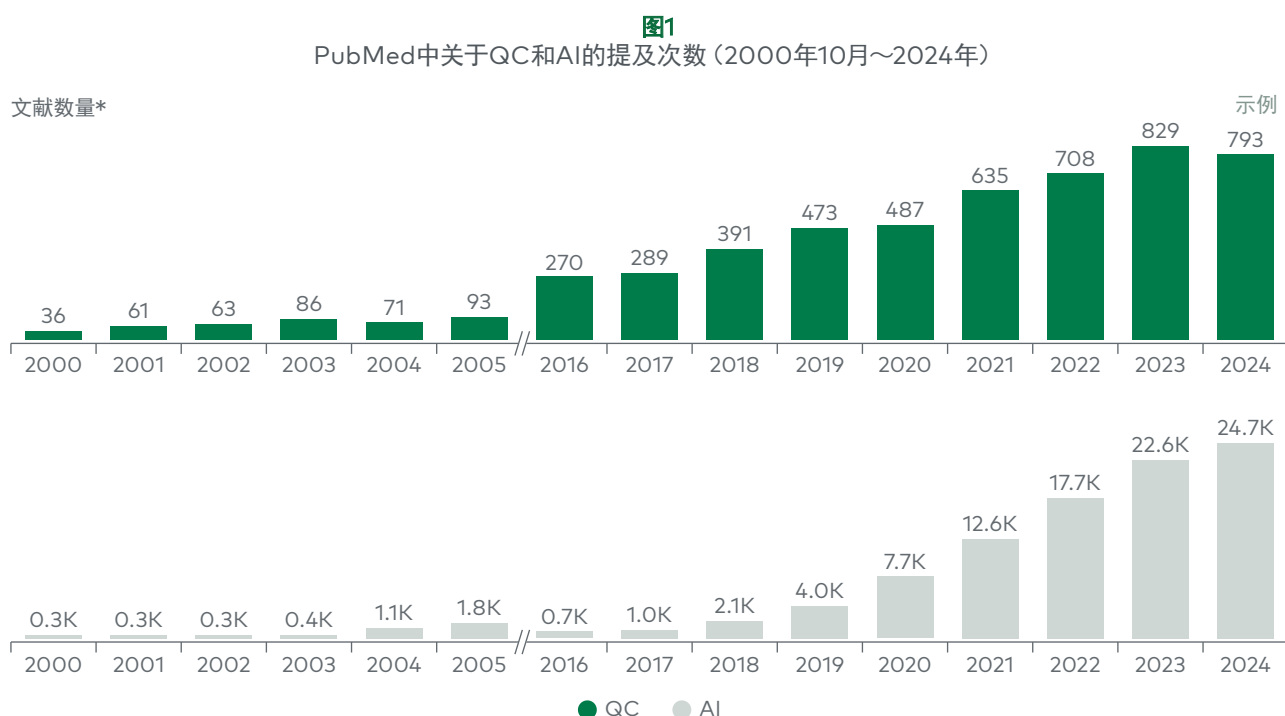
领袖视角

生物制药中的量子计算：未来前景与战略洞察

量子计算——能为生物制药带来什么？

随着临床门槛日益提高、对复杂药物形式的需求增加、研发周期延长，新分子实体（New Molecular Entity, NME）的开发愈发困难。从药物发现到上市，每个NME的总研发投入约为15亿至35亿美元¹；自2010年以来，前15大制药公司的年研发支出增长了约1.5倍，预计到2030年将达到180亿美元²。更为严峻的是，《通胀削减法案》（Inflation Reduction Act）带来的产品生命周期压缩，以及2030年前共计超过2000亿美元营收的产品面临专利保护到期风险³，也迫使生物制药企业加速创新。

那么，人工智能（Artificial Intelligence, AI）或量子计算（Quantum Computing, QC）的技术进展，能否帮助应对生物制药在效率与成本上的双重压力？过去五年，AI迅猛发展，量子计算也紧随其后，相关学术文献数量迅速上升（见图1）。量子计算基于量子力学原理，相比传统计算方式的信息处理能力具有指数级的提升。AI与QC有望通过前所未有的计算能力和问题求解能力，推动生物制药行业的深层变革。



注：*包含文章中任何位置出现的搜索词“量子计算”、“量子计算技术”、“量子计算机”、“量子计算机”或“量子计算”；QC=量子计算；AI=人工智能
信息来源：PubMed；L.E.K. 研究与分析

迄今为止，AI技术相对成熟、应用门槛较低且市场准备度较高，使其获得更大的投资规模。然而，这并不意味着QC处于劣势。实际上，QC与AI是互补的：QC能够加速AI系统的训练与推理，并可进行传统计算无法处理的数据操作，从而拓展新的计算边界。

全球范围内，QC领域的投资持续增长。截至2024年，该市场的累计投资规模已达到：美国约80亿美元，中国约150亿美元，英国、法国和德国合计约143亿美元⁴，这些资金来自政府部门和私营机构的共同推动。尽管由于资金紧缩与利率上升，2023年私营机构对量子技术的投资（约13亿美元）低于2022年的23亿美元⁵，但过去十年中量子知识产权（IP）的增长仍非常显著。

除投资与IP的增长外，量子计算机的算力（以量子比特qubits为基本单元）也出现了飞跃式扩展。IBM从2016年的5-qubit处理器发展到2022年的433-qubit，并计划在2025年实现超过1000个qubit⁶。其他公司如Google、IonQ、QuEra也在计算能力上取得显著进展⁷。

什么是量子计算？

量子计算 (Quantum Computing, QC) 利用量子力学原理解决传统计算无法处理的复杂计算问题，是量子科学的重要分支。

量子计算与量子科学及量子力学的关系

量子计算运用量子力学的核心原理，以全新的方式处理信息，相比传统计算机在一些任务的处理速度上获得指数级的加速。

它是量子科学中的一个跨学科领域，而量子科学整体上涵盖了对物理、化学和工程中的量子现象的研究。

量子干涉

量子计算成功的一个基本原理是量子干涉，它源于量子粒子的波动特性。通过不同概率振幅相互叠加形成干涉图样，量子计算机能够以独特的方式处理信息。

量子干涉的核心价值包括：

计算并行性：支持对多个解的同时计算，使某些复杂问题变得可处理

精度增强：强化正确解、抑制错误，从而提高量子传感的准确性

相干调控：支持对量子态的精确操控，用于实现高级量子逻辑和电路

量子干涉支撑了量子在计算、通信和传感方面的优势，为信息处理提供了全新的洞察

量子技术栈 (Quantum Stack)

将量子干涉效应融入量子网络需要依托结构化的量子技术栈，并明确定义可扩展量子计算所需的硬件与软件层级体系。

量子技术栈概览

企业级解决方案



- 生产级别具备 可靠性、灵活性和安全性
- 与客户的生产工作流程 无缝集成
- 快速实现客户开发与部署

注：API=application programming interface 应用编程接口；OS=operating system 操作系统
信息来源：L.E.K. 研究与分析

D量子网络 (Quantum networking)

量子网络通过量子力学原理连接量子计算机，从而超越经典通信方式。相比于传输二进制数据，这类网络传输的是量子态，从而实现安全、高性能的分布式计算。

量子网络为生物制药行业带来的潜在益处包括：

- 临床试验数据/真实世界数据的安全传输
- 制药企业间的协同与互操作性

在药物发现和临床试验中的前沿应用

量子计算有潜力重塑生物制药价值链，突破传统计算在处理复杂数据集和模拟中的瓶颈（见图2）。其最具影响力的应用领域预计集中在药物发现和早期研究。由于分子本身遵循量子规律，行为涉及指数级庞大的状态空间，传统系统只能以高昂成本进行近似计算，而QC正可直接处理这些问题。量子增强的生成模型还可加速化学空间的探索，发现传统方法难以触及的新药物结构，从而缩短研发周期、降低成本、提升成功率。

在临床试验设计和运营中，量子计算可分析复杂的基因组、生物标志物、真实世界数据，优化患者分层和试验布局。量子机器学习能够识别个体化医疗的最佳患者亚群，减少试验失败，提升预测的准确性。量子优化也可改进临床试验中心的选择和自适应设计，提升效率，控制成本。

在研发之外，量子计算还能够推动价值链其他环节的效率提升，优化生产制造和供应链流程、改进商业职能中的预测分析能力，并提升运营效率，以实现更高的可持续性。

尽管仍在发展中，量子计算在解决生物制药中最具计算挑战的问题上，可能带来突破性的效率提升和变革性进展。

图2
生物制药领域量子技术应用的6大使用场景



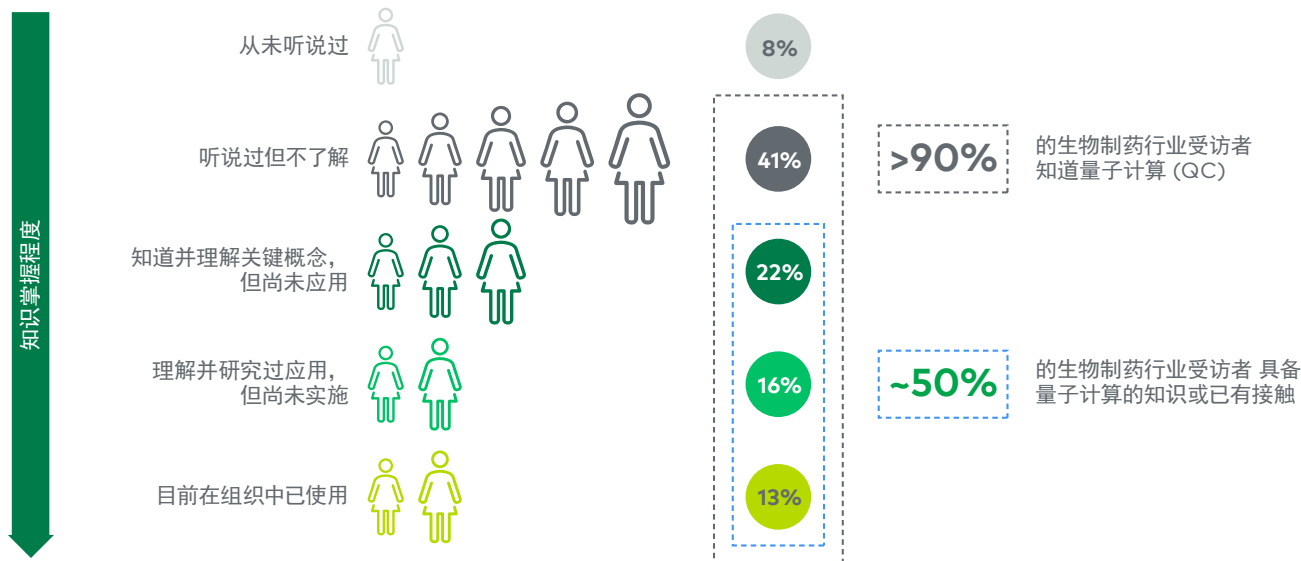
注：ADME = 吸收、分布、代谢和排泄；DMPK = 药物代谢与药代动力学；LCM = 生命周期管理
信息来源：L.E.K. 研究与分析

生物医药领域对量子计算的日益关注正推动该技术进入“预实用化”阶段

L.E.K.咨询公司对大约300名来自美国和欧洲的生物制药相关方的调研结果显示：超过90%的受访者知晓QC及其潜力，此外，约50%的受访者（来自于110家生物制药公司）显示出对于量子计算关键概念的理解，且曾接触或研究过量子计算的应用（见图3）。随着这些高价值的量子计算应用场景的出现，这一结果并不令人意外。

图3
生物制药行业对量子计算(QC)的熟悉度

受访者比例 (N=296)



注: QC = 量子计算 (quantum computing)

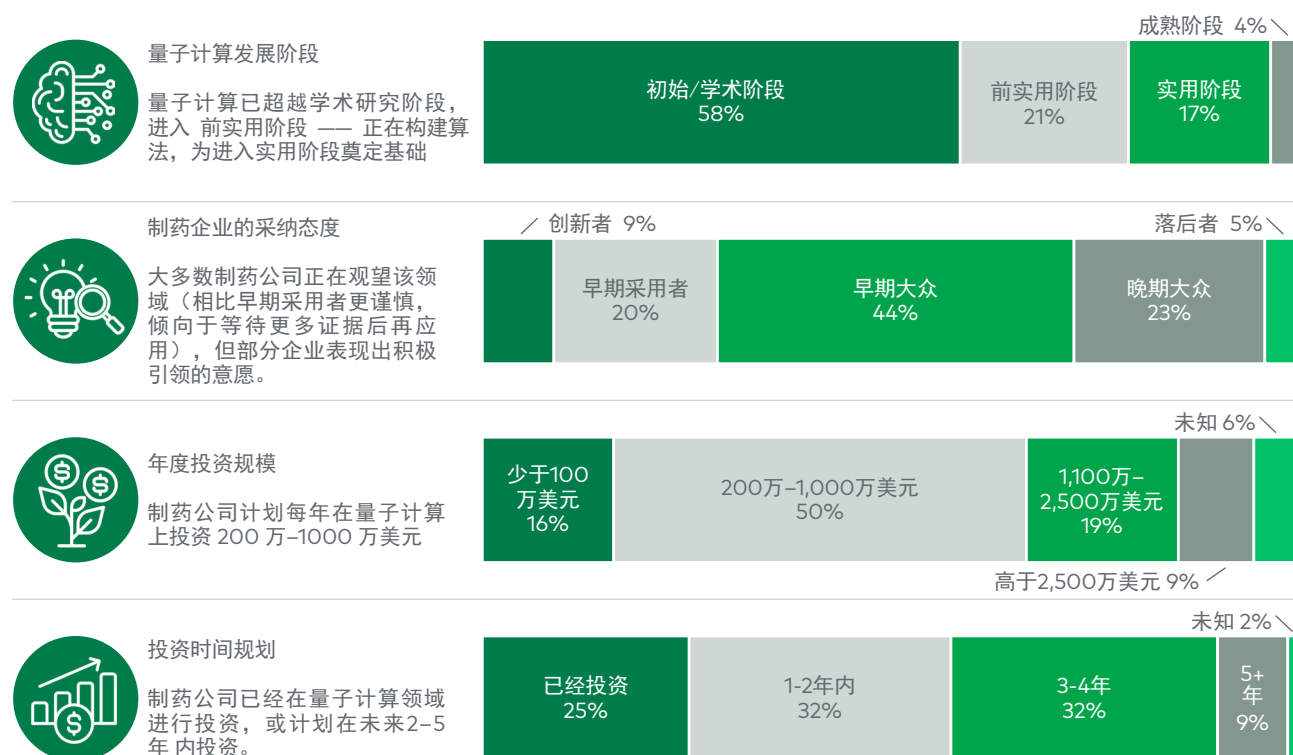
信息来源: L.E.K. 针对美国和欧盟生物制药相关方的调研, 涵盖研发、商业、生产、医学及业务发展职能 (L.E.K. 生物制药量子计算调研)

生物制药从业者认为, 量子计算正在取得显著的早期进展, 正从学术研究过渡到更专业的前实用阶段⁸。在这一阶段, 行业重点是开发可落地的算法和应用, 为推动商业价值实现奠定基础。

约44%的受访者属于“早期大众”, 他们倾向于在获得实际验证后才推动应用; 而30%的受访者是创新者或早期采用者, 已在积极推动创新。

行业对量子计算的投资也在增长, 未来五年内, 50%的制药公司预计每年将投入200万至1000万美元, 另有20%的公司计划年投入达到1100万至2500万美元。这反映出行业对量子计算价值的日益认可 (见图4)

图4
生物制药企业期望通过合作伙伴关系发展量子计算能力



信息来源：L.E.K. 生物制药量子计算调研

制药公司正沿着价值链的各个环节尝试量子计算的应用，最先聚焦的是药物发现与临床试验。（见图5）

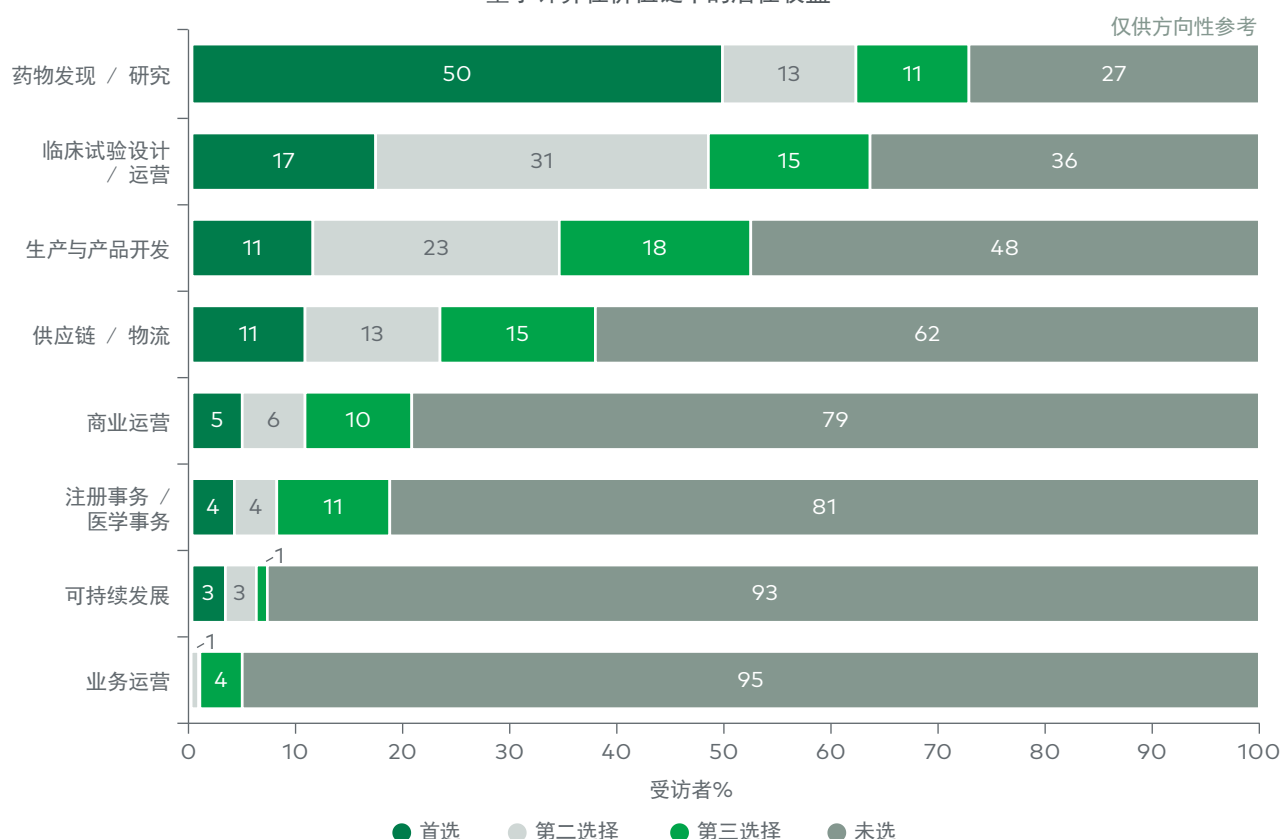
在可持续发展、商业运营、生产制造及产品开发等方面，量子计算也有望拓展能力。然而，具体的影响路径及各应用场景下最适合的量子计算模式仍在探索过程中。

近期关键进展推动生物制药企业需对接量子处理单元与生态赋能者

随着行业热度与投资加码，量子计算生态系统迅速演化，技术进展显著。2024年，大型科技企业在该领域取得以下里程碑式进展：

- IBM推出Quantum Heron，其最先进的量子计算机，配备156个逻辑qubit⁹
- Google Quantum AI推出新一代Willow芯片，在超导量子系统中实现指数级的误差缩小与性能提升

图5
量子计算在价值链中的潜在收益



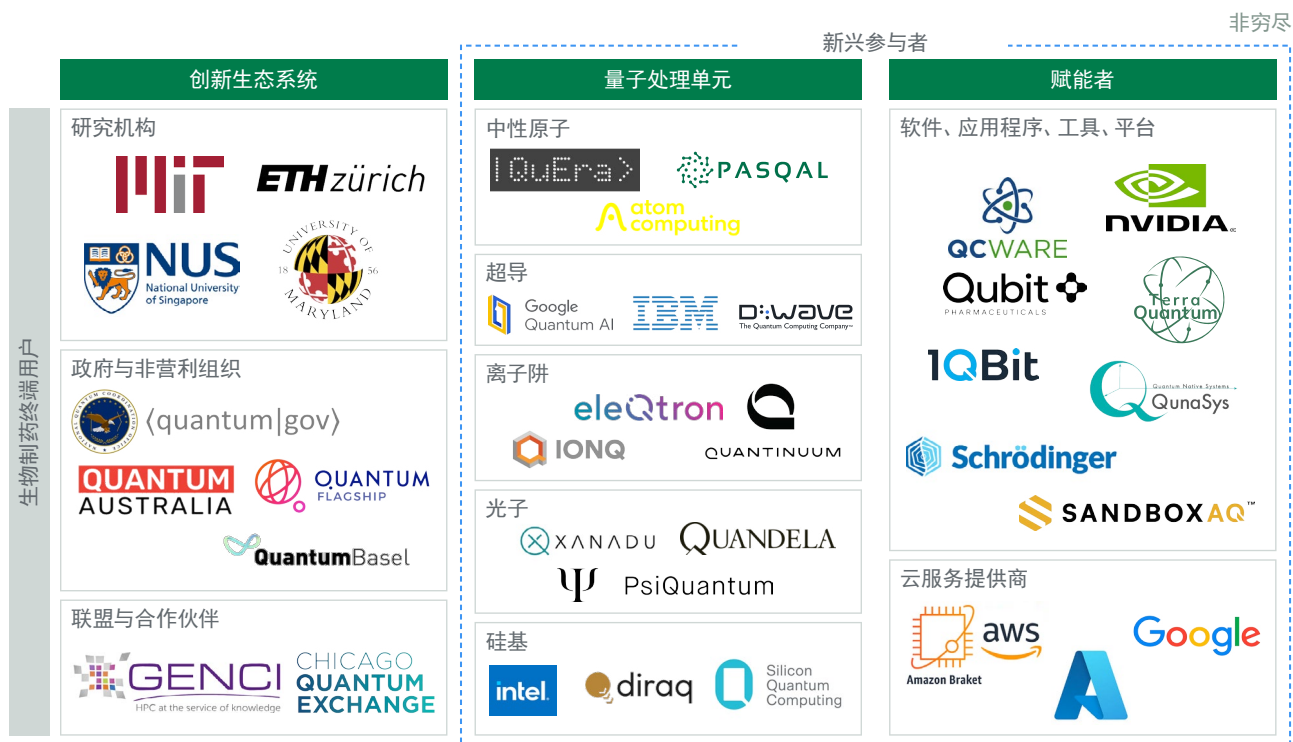
调研问题：在价值链的哪些环节，您认为量子计算能为贵组织带来最大收益？（最多选择三项，并按重要性排序）
信息来源：L.E.K. 生物制药量子计算调研

专注于量子计算的企业也正持续进步：

- IonQ推出的Tempo量子计算机实现了99.9%的双量子比特门保真度，这一突破性进展巩固了该公司在离子阱技术领域的领先地位
- Quantinuum的H2系统达成12个逻辑qubit，相较于前一代模型达到了三倍提升

随着这些技术进展，两类主要的角色逐步浮现：一是量子处理单元的提供商，二是帮助企业接入量子计算的赋能方。这些角色为量子计算的发展注入动力与资金。正如企业与AI技术提供商的合作一样，生物制药公司也应该联动这些量子计算的合作方，充分施展技术潜能，在不断演化的领域中保持竞争力（见图6）。

图6
在不断演进的量子计算(QC)生态系统中不断增长的新参与者



注：QC=量子计算
来源：L.E.K. 研究与分析

战略合作对于在专业市场中竞争来说至关重要

量子计算生态日益复杂，想要顺利集成技术流程，必须通过战略合作构建核心能力。当前典型合作包括：

- IBM Quantum 与 GSK、Moderna 和 AstraZeneca 合作，利用IBM的 Quantum Heron 和 Condor处理器优化信使RNA (messenger RNA, mRNA) 研究及临床数据填补
- Google Quantum 与 Boehringer Ingelheim 合作，探索分子模拟算法，借助 Google 的 Sycamore处理器推动药物发现。

这些合作凸显了制药行业将量子计算融入制药流程的坚定决心，同时也表明，要攻克技术难题，实现实际应用，必须依靠全行业的协同努力（见图7）。未来，公司不仅需要建设内部人才能力，也应加快外部合作，以快速发展关键技术。率先行动的企业将在这一新兴赛道上赢得先发优势，建立行业领先地位。

图7
大型制药公司已与量子计算(QC)机构建立合作关系

非穷尽



注: QC = Quantum Computing (量子计算)
信息来源: 公司新闻稿

近期影响: 量子计算、人工智能与传统计算的交汇

当前最具前景的突破是将量子计算、人工智能与传统计算融合形成混合工作流。这种组合可结合三者优势, 实现更高精度的复杂系统模拟、更强大的机器学习模型、更大规模数据集的高效处理。超过70%的生物制药从业者预计, 量子计算将增强传统计算与人工智能能力, 特别是在药物发现与开发的突破性环节中, 提供更精确高效的解决方案。

例如Qubit Pharmaceuticals利用QC进行高级靶点表征和小分子药物发现中的分子动力学研究, 同时使用AI驱动的生成建模、虚拟筛选和预测分析。此外, 该公司还与Pasqal合作, 结合传统计算与量子计算, 对蛋白质、新分子实体 (NME) 和水分子进行高精度建模。

IonQ与AstraZeneca 的合作包括在AstraZeneca的BioVentureHub内创建应用开发中心, 推动量子计算在药物发现与开发中的应用。同时, IonQ还与NVIDIA、AstraZeneca和AWS展开合作, 利用计算工具推进药物开发, 分子模拟效率相比AWS过往的方案提升20倍, 为量子加速生物制药与材料科学的发展奠定基础。

进一步的进展包括在量子计算机上运行AI, 这些前景令人兴奋, 但预计需要较长时间才能广泛实现。

生物制药领域的量子计算发展路径

量子计算融入制药行业具有巨大的潜力，有望彻底变革药物发现和临床试验。虽然量子计算仍属于5至10年周期的长期战略投资，且需要具备可扩展硬件、先进的误差纠正能力和专业算法的支持，但其带来的机遇是显著的。量子计算可提升预测分析能力、优化临床试验设计、加速新疗法发现，最终可实现药物开发周期的缩短，加速新药上市。

尽管行业当前仍面临人才稀缺、学习曲线陡峭等挑战，但通过战略性投资、生态合作与 AI 技术融合，生物制药行业有望释放量子计算的变革性潜能。持续的合作与技术创新至关重要。

为实现这一目标并保持竞争力，企业应重点思考以下关键问题：

- 我们是否具备清晰的量子计算应用路径，尤其是在研发等核心职能上？
- 在研发环节中，哪些具体场景最适合优先作为量子计算的应用？基于什么标准进行场景的筛选与识别？
- 如何平衡外部合作与内部能力建设，加速量子计算价值的实现？
- 实施量子计算所需的关键内部运营要素是什么？尤其要考虑人才、硬件、数据基础设施及软件体系
- 在多大程度上将量子计算与AI结合使用？早期整合（例如混合工作流程）是否有益？还是应在整合前独立发展？企业应选择怎样的最佳技术路线？

通过系统思考上述问题并进行前瞻性投资，生物制药行业将有机会抓住新一轮机遇，在药物发现、临床开发、供应链与制造等关键环节实现突破性进展。

注：L.E.K.在人工智能与制药领域开展多项专家访谈（包括Google、IONQ、Qubit等机构专家），通过多方验证形成本报告结论。

尾注

¹Taylor & Francis Online, "A novel perspective on pharmaceutical R&D costs: opportunities for reductions." <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14737167.2022.1987219#abstract>

²L.E.K. 对于Evaluate Pharma的分析

³PharmaVoice.com, "How steep is pharma's patent cliff?" <https://www.pharmavoice.com/news/pharma-patent-cliff-Merck-Keytruda-Pfizer-Seagen-Humira/652914/>

⁴Statista.com, "Quantum technology historic public funding as of 2022, by country." <https://www.statista.com/statistics/1319273/planned-public-funding-quantum-computing-country/>

⁵CSIS, "Innovation Lightbulb: Private Investment in Quantum Technology." <https://www.csis.org/analysis/innovation-lightbulb-private-investment-quantum-technology>

⁶IBM.com, "Expanding the IBM Quantum roadmap to anticipate the future of quantum-centric supercomputing." <https://www.ibm.com/quantum/blog/ibm-quantum-roadmap-2025>

⁷PatentPC.com, "How Fast Are Quantum Computers Getting? Performance Growth Stats Over the Years." <https://patentpc.com/blog/how-fast-are-quantum-computers-getting-performance-growth-stats-over-the-years>

⁸LEK.com, "Quantum Computing — New Paradigm or False Dawn?" <https://www.lek.com/insights/ei/quantum-computing-new-paradigm-or-false-dawn>

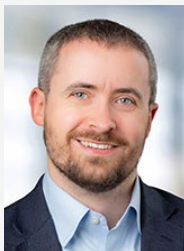
⁹Livescience.com, "IBM's newest 156-qubit quantum chip can run 50 times faster than its predecessor — equipping it for scientific research." <https://www.livescience.com/technology/computing/ibms-newest-156-qubit-quantum-processor-runs-50-times-faster-than-its-predecessor-equipping-it-for-scientific-research>

关于作者



Delia Silva

Delia Silva是L.E.K.咨询董事总经理兼合伙人，常驻波士顿，专注于生命科学与医药行业，重点聚焦增长战略和组织与绩效领域。Delia的专业能力涵盖多个治疗领域与产品形式，包括神经科学、罕见病和传染病等。她曾协助客户完成组织扩张与设计、产品上市规划、产品组合增长战略、市场准入评估、尽职调查、商业战略制定以及市场进入模式设计等多类项目。



Stuart Robertson

Stuart Robertson是L.E.K.咨询合伙人，常驻伦敦，同时担任颠覆性数据分析业务负责人，专注于运输行业，涵盖运营商以及设备和基础设施供应商。Stuart擅长促进公共与私营部门之间的互动，他在交通运输基础设施、定价和收入管理、交通运输技术、消费者互动以及诉讼和争议解决等关键领域拥有丰富经验。



Sej Brar

Sej Brar是L.E.K.咨询合伙人，常驻伦敦，是生命科学与医药业务团队成员。Sej专注于支持生物制药及医疗器械公司在企业战略、投资咨询和组织与绩效等领域交付关键项目，在治疗领域/产品线战略、增长战略、业务拓展与交易支持、商业卓越及组织效能提升等多领域具有丰富经验。



Ethan Hellberg

Ethan Hellberg是L.E.K.咨询顾问，常驻波士顿，专注于生命科学领域，在传染病、眼科学、神经科学及肿瘤学等多个治疗领域具有丰富经验。Ethan为客户提供涵盖增长战略、预测与估值、产品组合优先级制定、并购以及尽职调查等广泛议题的咨询服务。

关于L.E.K.咨询

我们是L.E.K.咨询，一家全球性的战略咨询公司，致力于帮助业务领导者把握竞争优势，获取持续增长。我们的深刻洞见能够帮助客户重塑业务发展轨迹，发掘机遇，并为其赋能，以把握每一个关键时刻。自1983年创立以来，我们遍布全球的团队在跨越美洲、亚太和欧洲的区域，与来自各个行业的跨国企业、创业企业以及私募股权投资者展开合作，为其提供战略咨询服务。如欲了解更多信息，请访问 lek.com。

L.E.K. Consulting是L.E.K. Consulting LLC的注册商标。本文中提及的所有其他产品和品牌均为其各自所有者的财产。
©2025 L.E.K. Consulting