

势能无量，算沙抟空

2024中国量子计算应用潜力洞察报告

亿欧智库 <https://www.iyiou.com/research>

Copyright reserved to EO Intelligence, Oct. 2024

- 1900年，普朗克提出能量量子化的概念，从此开启量子力学世界的大门，为此后100多年的发展奠定了基础
- 到了20世纪80年代，理论物理学家开始探索利用量子力学的概念设计一种全新的计算机，“量子计算”的概念和理论基础逐步建立
- 随后，量子计算技术持续取得重要突破，硬件方面量子计算机比特数量不断扩展，软件方面算法和编译语言越发高效，21世纪初期，国外便有一些公司开始探索量子计算的商业化应用，加拿大的D-Wave Systems是世界上第一个销售商业量子计算机的机构，虽然当时只能处理简单的特定问题，但也迈出了量子计算商业化探索的重要一步
- 近年来，国内外纷纷涌现出量子计算相关企业，大力投入相关技术的开发和应用落地的探索，朝着通用量子计算机的方向持续迈进

势能无量，算沙转空。与大部分新兴技术从萌芽到成熟的发展路径类似，量子计算正处于向技术突破期过渡的阶段，量子计算应用落地虽然目前多处在探索期，但我们有理由相信，并期望其未来对更多领域、更多场景产生变革式的赋能。

- ◆ 量子：一个物理量如果存在最小的不可分割的基本单位，则此物理量即为量子化的，并把这个最小单位称为量子
- ◆ 量子计算：一种遵循量子力学规律调控量子信息单元进行计算的新型计算模式，利用量子叠加和量子纠缠等效应，在某些特定领域上能够提供比经典计算更高效的处理能力，突破经典算力瓶颈
- ◆ 量子比特：也叫量子位或量子元，是量子计算中用于编码数据的基本信息单位，可以理解为经典计算机用于以二进制形式编码信息的传统比特（bit）在量子领域的等效物
- ◆ 量子叠加：量子力学的基本特性之一，与经典计算机中一个比特（bit）所拥有的单一状态（0或1）相比，量子计算机中的量子比特（qubit）可以同时处于0和1的状态，这种能同时表示两种或多种状态的特性即为量子叠加
- ◆ 量子纠缠：量子力学的另一个基本特性，形容当两个或多个量子纠缠在一起时，无论它们的距离有多远，一个量子状态的改变会立即影响到另一个量子的状态
- ◆ 量子计算机：遵循量子力学规律进行高效运算、存储及处理量子信息的物理装置，广义上来讲，当某个装置处理和计算的是量子信息，运行的是量子算法时，就可称之为量子计算机，现阶段，国内常见的量子计算即硬件路线包括超导、离子阱、光量子、中性原子等
- ◆ 超导量子计算：现阶段最成熟的量子计算技术之一，基于超导电路，通过对超导量子比特进行操控来进行信息的处理，可与现代集成电路工艺兼容，制备出大规模量子比特
- ◆ 离子阱量子计算：基于捕获和操控单个或多个离子的量子计算方案，利用激光束和电磁场创建并控制粒子的量子态，实现量子比特的操作和测量
- ◆ 光量子计算：以光子作为信息的载体，通过量子光学元件实现量子计算过程的一种技术
- ◆ 中性原子量子计算：以中性原子（即其核外电子数与核内质子数相等，使正负电荷总量相等的原子）作为基本运算单元进行计算的量子计算模式

目录

CONTENTS

01 六大视角解读量子计算产业

- 1.1 政策视角
- 1.2 投融资视角
- 1.3 技术视角
- 1.4 学术视角
- 1.5 产业链视角
- 1.6 企业视角

02 中国量子计算产业链发展洞察

- 2.1 中国量子计算产业链图谱及关键环节发展概况洞察
 - 2.1.1 硬件技术路线发展洞察
 - 2.1.2 软件开发情况分析
 - 2.1.3 云平台发展概况分析
- 2.2 融合发展现状及趋势分析
 - 2.2.1 量子计算与经典超算融合
 - 2.2.2 量子计算与人工智能结合
 - 2.2.3 量子计算商业化趋势

03 量子计算商业化应用落地潜力及场景赋能价值分析

- 3.1 量子计算在各行业细分场景的应用潜力分析及落地时间预测
- 3.2 量子计算+金融
- 3.3 量子计算+生物医药
- 3.4 量子计算+信息安全
- 3.5 量子计算+交通物流
- 3.6 量子计算+能源

目录

CONTENTS

01 六大视角解读量子计算产业

- 1.1 政策视角
- 1.2 投融资视角
- 1.3 技术视角
- 1.4 学术视角
- 1.5 产业链视角
- 1.6 企业视角

02 中国量子计算产业链发展洞察

- 2.1 中国量子计算产业链图谱及关键环节发展概况洞察
 - 2.1.1 硬件技术路线发展洞察
 - 2.1.2 软件开发情况分析
 - 2.1.3 云平台发展概况分析
- 2.2 融合发展现状及趋势分析
 - 2.2.1 量子计算与经典超算融合
 - 2.2.2 量子计算与人工智能结合
 - 2.2.3 量子计算商业化趋势

03 量子计算商业化应用落地潜力及场景赋能价值分析

- 3.1 量子计算在各行业细分场景的应用潜力分析及落地时间预测
- 3.2 量子计算+金融
- 3.3 量子计算+生物医药
- 3.4 量子计算+信息安全
- 3.5 量子计算+交通物流
- 3.6 量子计算+能源

亿欧智库：中国量子计算产业主要政策梳理

2024年，政府工作报告

开辟量子技术等新赛道，创建一批未来产业先导区。

2024年，《关于推动未来产业创新发展的实施意见》

突破量子计算机等高端装备产品，以整机带动新技术产业化落地。

2023年，各主要地方政府政策端发力量子产业

- 安徽：加快布局量子信息基础设施，推动量子计算研究和应用
- 广东：支持量子信息等前沿领域加强研发布局
- 北京：面向量子通信、量子计算等方向开展技术攻关
- 湖北：设立20亿元量子科技产业投资基金，到2025年建成国际国内一流的量子科技创新引领区、产业集聚区、应用示范区

2022年，中央经济工作会议

加快量子计算等前沿技术研发和应用推广。

2021年，《“十四五”数字经济发展规划》

瞄准量子信息等战略性前瞻性领域，提高数字技术基础研发能力。

2020年，中央政治局第二十四次集体学习

习近平总书记指出，要加强量子科技发展战略谋划和系统布局。

2018年，两会政府工作报告

提及“量子信息科技”，并肯定量子通信领域的重大创新成果。

2016年，《“十三五”国家科技创新规划》

将“量子通信与量子计算机”列为“科技创新2030-重大项目”之一，提出研制通用量子计算原型机和实用化量子模拟机。

POLICY

国外主要经济体较早布局量子产业，持续提供政策和资金支持

当前，全球主要经济体都已将发展量子信息产业视为国家战略。英国较早发布国家层面政策，2013年便开始实施国家量子技术计划（NQTP），并发布《英国量子技术路线图》；美国则为量子科技立法，建立了受法律约束的量子信息科学管理体系。同时，欧美国家在量子信息领域相继开展合作，如法国和荷兰、英国和美国、美国和日本等通过共同制定发展规划、投入资金开发量子项目、培育人才等方式开展合作。

中国量子计算产业政策布局具有演进性，从鼓励科技研发到注重产业化应用

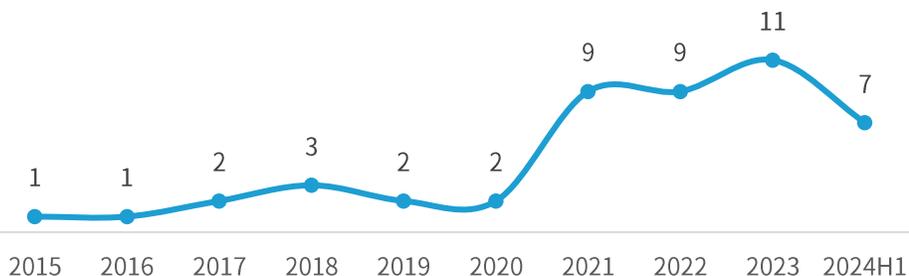
中国量子信息产业政策的演进大致可分为三个阶段，第一阶段聚焦于鼓励技术研发，如2016年的《十三五“国家科技创新规划”》、2021年的《“十四五”数字经济发展规划》；第二阶段重点推动应用试水，如2022年中央经济工作会议提出加快量子计算应用推广；当前，国家层面政策在鼓励技术发展的基础上进一步注重技术的产业化落地。

在国家战略布局背景下，地方政府纷纷加大对量子计算产业的支持力度

基于国家层面对量子信息产业的政策支持，各省市政府也相继出台政策鼓励量子计算产业发展应用，主要聚焦于基础设施建设、技术创新、产业应用三大方面。

- 加强基础设施建设：加大对于量子网络、数据中心等基础设施的投资，为量子计算提供硬件支持
- 鼓励技术创新：通过设立专项基金、提供科研经费等方式，鼓励量子计算的基础研究和应用开发
- 推动产业应用：支持量子计算的产业化应用，探索量子计算的实际应用场景

亿欧智库：2015-2024H1中国量子计算领域融资数量



亿欧智库：2024年上半年中国量子计算企业融资情况

企业	融资时间	融资轮次	融资金额	投资目的
量旋科技	6.12	战略投资	3667万人民币	投资机构国富创新战略布局量子计算领域
微观纪元	6.3	Pre-A	数千万人民币	开展量子计算在生物物质相关产业应用及新材料研发生产相关部署
华翊量子	5.7	Pre-A	1亿人民币	加速助力新型离子阱量子计算机研发、新业务场景拓展及量子算法在更多行业应用中的探索
瀚海量子	4.25	天使轮	数千万人民币	主要用于新产品研发与产业应用
中微达信	3.14	A轮	-	加速研发新一代量子计算测控系统、芯片及量子传感芯片产品
华翊量子	1.23	战略投资	近亿人民币	加速助力研发制造第二代及第三代离子阱量子计算机
逻辑比特	1.19	种子轮	数千万人民币	扩充公司人才队伍、加速技术和产品迭代

INVESTMENT

过去几年，全球量子计算领域投资快速增长，当前资本更注重商业化及盈利

量子计算产业目前仍是一片“蓝海”，但资本在向量子计算市场倾斜的同时也逐渐理性。近年来，全球量子计算企业融资规模虽不断扩大，但2023年和2022年相比整体融资规模下降，在全球经济下行背景下，投资者越来越重视商业化落地和盈利，投资将进一步趋向理性。

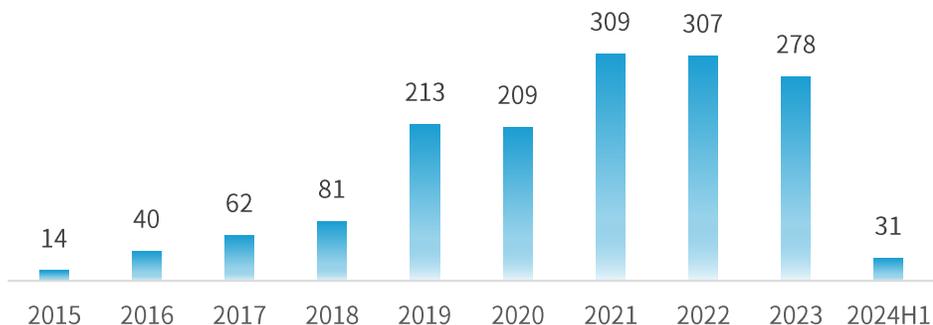
从中美两国量子计算企业融资情况来看，中国在融资额上远低于美国

虽然近几年中国量子计算企业不断创新研发新产品和新技术，融资上也在积极做布局，但融资额仍与美国差距较大，仅约美国的十分之一。因为量子计算领域的融资不仅要拉长线，更与产品发展和应用阶段有很大关系，美国量子计算企业的优势在于起步早、产业化相对好，但中国的量子计算企业均处于产业化早期阶段。

中国超导技术路线发展相对成熟，已吸引大量资本投入

中国量子计算企业在超导、光量子、离子阱、中性原子等技术路线上均有布局，呈现出多元化发展趋势。而从融资角度来看，超导技术因其稳定性和扩展性优势，成为当前最受资本青睐的技术路线之一。本源量子、国盾量子、量旋科技等企业纷纷在超导领域取得重要进展，吸引了大量投资；与此同时，离子阱、光量子等技术路线也逐渐受到关注，如华翊量子在2024年上半年已实现2笔融资，有助于推动中国量子计算硬件路线多面开花。

亿欧智库：2015-2024H1中国量子计算领域有效专利申请数量



亿欧智库：2024年中国量子计算领域主要技术进展

- 7月**
 - 中国科大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**，以超越经典计算机的模拟能力首次验证了该体系中的反铁磁相变，向获得费米子哈伯德模型的低温相图、理解量子磁性在高温超导机理中的作用迈出了重要的第一步
- 5月**
 - 中国第三代自主超导量子计算机“本源悟空”核心部件——**高密度微波互连模组**在合肥完成重大突破，成功解决“一根线”的“卡脖子”问题，实现完全国产化
- 4月**
 - 玻色量子发布新一代**550计算量子比特的相干光量子计算机**——“天工量子大脑550W”及开物SDK等核心研究成果
 - 中科院量子信息与量子科技创新研究院向国盾量子交付了一款**504比特的超导量子计算芯片“骁鸿”**，刷新了国内超导量子比特数的纪录，后续计划通过中电信量子集团“天衍”量子计算云平台向全球开放

TECHNOLOGY

全球主要经济体持续投入量子计算技术创新，竞争格局逐渐形成

美国作为量子计算强国，除政策支持外，还有IBM和微软等巨头在量子计算领域的大力投入；中国紧随其后也取得了显著进展，各大研究机构和企业不断突破量子比特数量并拓展硬件技术路线。此外，其他国家也积极布局量子计算领域，如英国牛津大学衍生公司牛津离子制造出了迄今为止性能最高的量子芯片，且在过程中未使用纠错，并可在现有半导体晶圆厂制造。随着技术的不断突破，全球量子计算市场竞争格局也正在逐步形成。

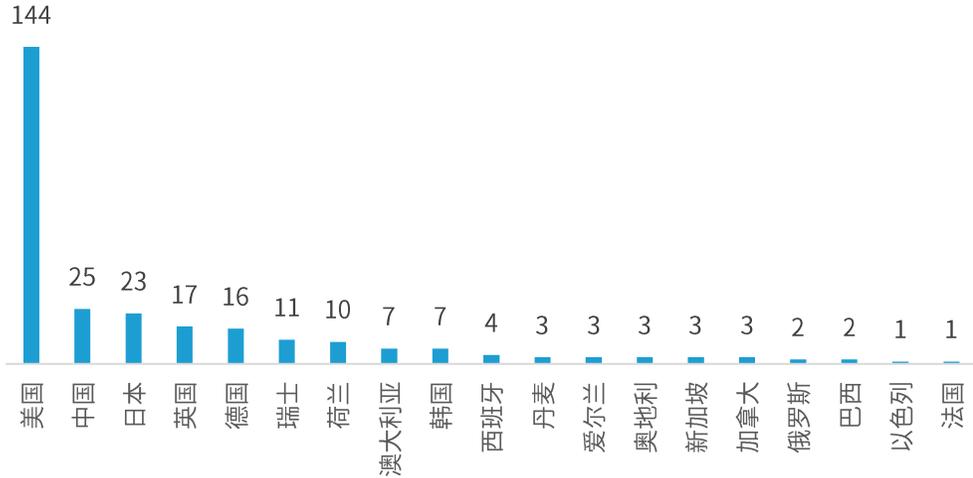
当前处于量子优势探索阶段，量子比特数量不断实现突破

2019年，谷歌量子计算机Sycamore（实际使用52个量子比特）采用超导量子比特技术仅用约200秒就完成了—一个随机量子线路任务，即生成一个特定的随机数分布，而当时全球计算速度居首的超级计算机需约1万年才能完成；2021年，中国成功构建了76个光子的量子计算原型机“九章”，处理高斯玻色取样的速度比超级计算机快一百万亿倍，使中国成为全球第二个实现“量子优越性”的国家。目前，量子计算机已超过1000比特。

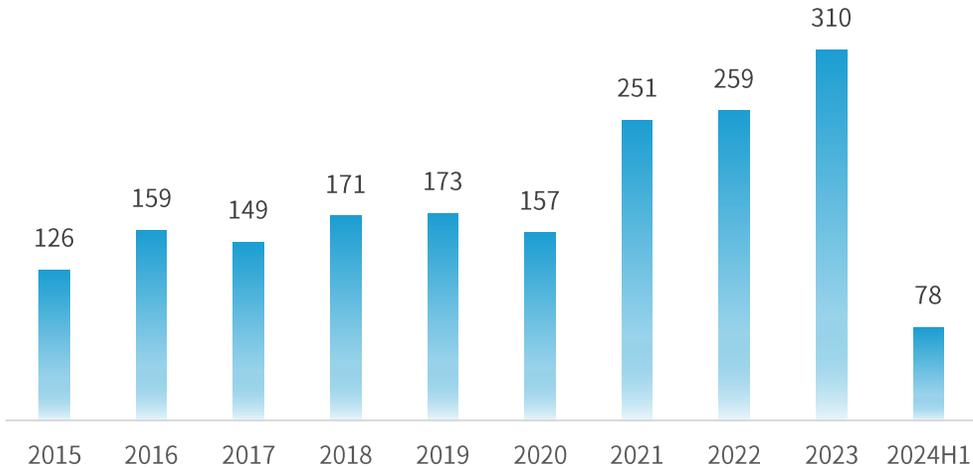
中国正缩小与美国在量子计算领域的技术差距，技术专利申请数量持续增长

过去十年，中国量子技术实现巨大突破，从起步较晚、落后于顶尖国家到成为技术专利和生产领域的领先者，2003-2022年，全球量子技术专利申请有37%来自中国，超过美国，但在量子计算领域，我国与美国技术差距仍较大，同时还面临日本、德国、英国等的追赶。

亿欧智库：2023年主要国家量子计算领域顶级期刊发文数量



亿欧智库：2015-2024H1中国量子计算领域知网论文发布数量



数据来源：ICV，光子盒，中国知网，教育部官网，亿欧智库

ACADEMIC

科研方面，美国居于头部地位，中国位居亚太地区期刊发文榜首

从2023年量子计算领域顶级期刊的发文情况来看，美国共发布144篇，远远超过其他国家，表明美国在量子计算领域的科研积累十分成熟；中国排名第二，共发布25篇，在科研和学术上持续追赶美国。

其他主要国家如日本、英国、德国、瑞士等也有较多论文发布。现阶段，量子计算在全球范围内仍处于发展早期，聚焦于技术研发的突破和学术科研成果的转化，各国均不断积累自身技术能力，以期在未来产业化应用方面提供助力。

面对全球竞争的日益加剧，中国逐步提升量子计算人才培养力度

当前，全球各国在量子计算领域的竞争日趋激烈，美国商务部将中国20+量子计算领域企业列入实体清单，限制设备和相关物资对中国的出口，因此，中国自身量子计算能力的提升至关重要。2020年，教育部首次增设量子信息科学专业，截至目前，国内已有13所院校开设了量子信息科学专业。

此外，2024年7月，教育部发布了《关于开展2024年度普通高等学校本科专业设置工作的通知》，为服务国家战略需求，明确支持高校面向量子科技等关键领域布局相关专业，有针对性地培养国家战略人才和紧缺人才。不仅表明了国家在发展量子计算产业上的战略决心，也将在未来驱动中国量子计算领域的技术和科研水平进一步提高。

产业链视角：量子计算产业链完整，涵盖从设备到应用探索的各个环节

亿欧智库：量子计算产业链上下游梳理



INDUSTRY CHAIN

中国量子计算领域生态已初步完善，产业链格局日渐清晰

在国家政策和资本市场对产业发展的支持下，量子计算产业链生态逐步形成。基于硬件技术路线的不断突破创新，量子计算机运行所需的上游设备与配套器件也随之完善，同时，软件系统和算法层面也随之优化，上下游玩家增多。

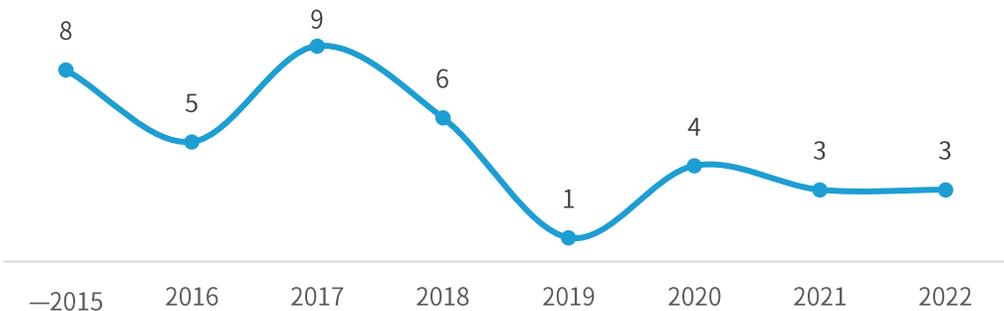
具体来看，量子计算产业链上游主要包括稀释制冷机、测控系统、低温器件、真空系统、激光器、光学探测器等配套设备及软件开发工具；中游以量子计算机硬件和系统软件为主；下游可通过量子计算云平台等方式提供量子算力资源，赋能金融、制药、物流等领域计算效率和准确度的提高。

短期内，中国量子计算相关企业都将重点投入量子计算机硬件技术突破

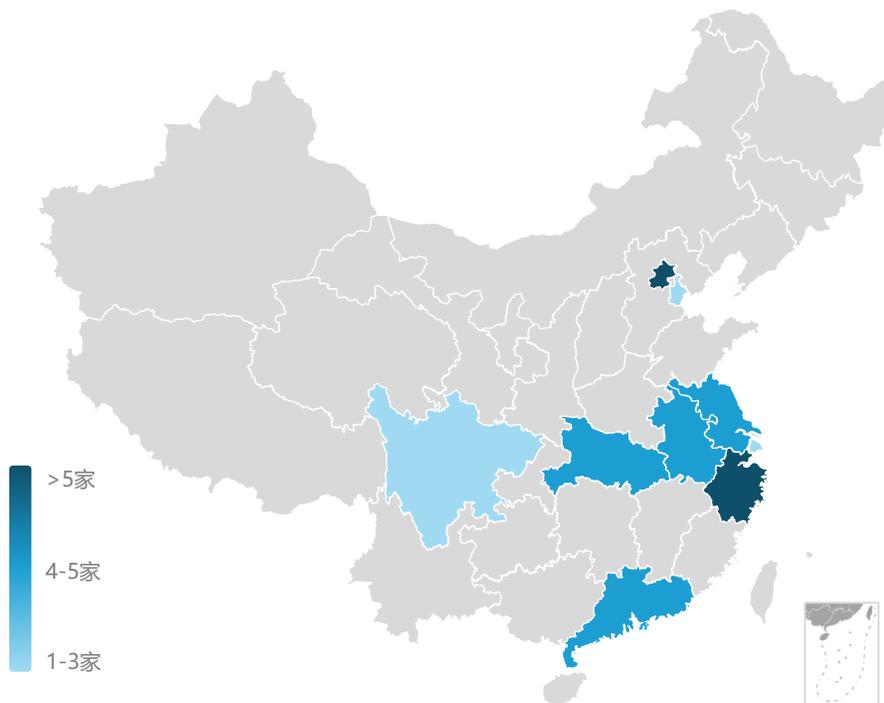
对于中国量子计算产业来说，上中下游各环节都是不可或缺的组成部分，但是量子计算机硬件是现阶段大部分企业和科研机构集中突破的最核心环节，无论是软件还是算法，本质上都依赖于硬件提供的计算能力，且上游的配套设备和软件开发工具也只有依托量子计算机硬件能力的提升才能更好地发挥价值。

与经典计算机的本质相似，经典计算机在发展早期也重点聚焦于硬件能力的提升，对于软件或算法的设计和开发并不多，随着硬件性能的提升才越来越多地考虑在硬件平台之上实现应用的开发及算法的优化，量子计算产业链的发展也类似于此，针对于硬件的技术突破研究还将在短期内持续。

亿欧智库：中国量子计算企业创立时间及数量梳理



亿欧智库：中国量子计算产业链企业地域分布情况



ENTERPRISE

中国量子计算产业链企业数量不断增加，但关键环节仍与美国有一定差距

近年来，中国量子计算产业快速发展，国家和地方政府纷纷将量子技术视为战略重要产业给予支持和资金投入，驱动产业链企业玩家数量不断增加，不仅包括本源量子、国盾量子等专门企业，腾讯、华为等大厂也在以云平台或建立研究院的方式介入量子计算领域。

但同时，各国量子计算产业间的竞争日益加剧，中国在量子芯片和超低温设备等核心技术领域的技术创新和突破方面仍与美国有较大差距。

中国量子计算企业的成立离不开政策的支持，产业链逐步扩大

从中国量子计算企业的创立时间来看，大部分都是近十年内成立的，且都离不开政策的驱动。2016年《十三五》国家科技创新规划》将“量子通信与量子计算机”列为“科技创新2030-重大项目”之一，2016-2018年便有一波企业创立潮。而从2020年开始，国家每年都会提及对量子信息产业发展的支持，因此往后每年也陆续都有企业创新成立。

地域分布上，中国量子计算企业相对集中，以北京和东部沿海地区为主

中国量子计算企业地域分布较为集中，其中北京和浙江数量最多，其次是安徽、湖北、江苏及广东。企业在地域上的分布状态也离不开各地方政府的支持。2023年，安徽、广东、北京、湖北等地陆续发布政策支持量子产业发展，以基础设施建设、技术攻关、设立产业投资基金等方式鼓励产业发展，极大推动了企业和项目落地。

目录

CONTENTS

01 六大视角解读量子计算产业

- 1.1 政策视角
- 1.2 投融资视角
- 1.3 技术视角
- 1.4 学术视角
- 1.5 产业链视角
- 1.6 企业视角

02 中国量子计算产业链发展洞察

- 2.1 中国量子计算产业链图谱及关键环节发展概况洞察
 - 2.1.1 硬件技术路线发展洞察
 - 2.1.2 软件开发情况分析
 - 2.1.3 云平台发展概况分析
- 2.2 融合发展现状及趋势分析
 - 2.2.1 量子计算与经典超算融合
 - 2.2.2 量子计算与人工智能结合
 - 2.2.3 量子计算商业化趋势

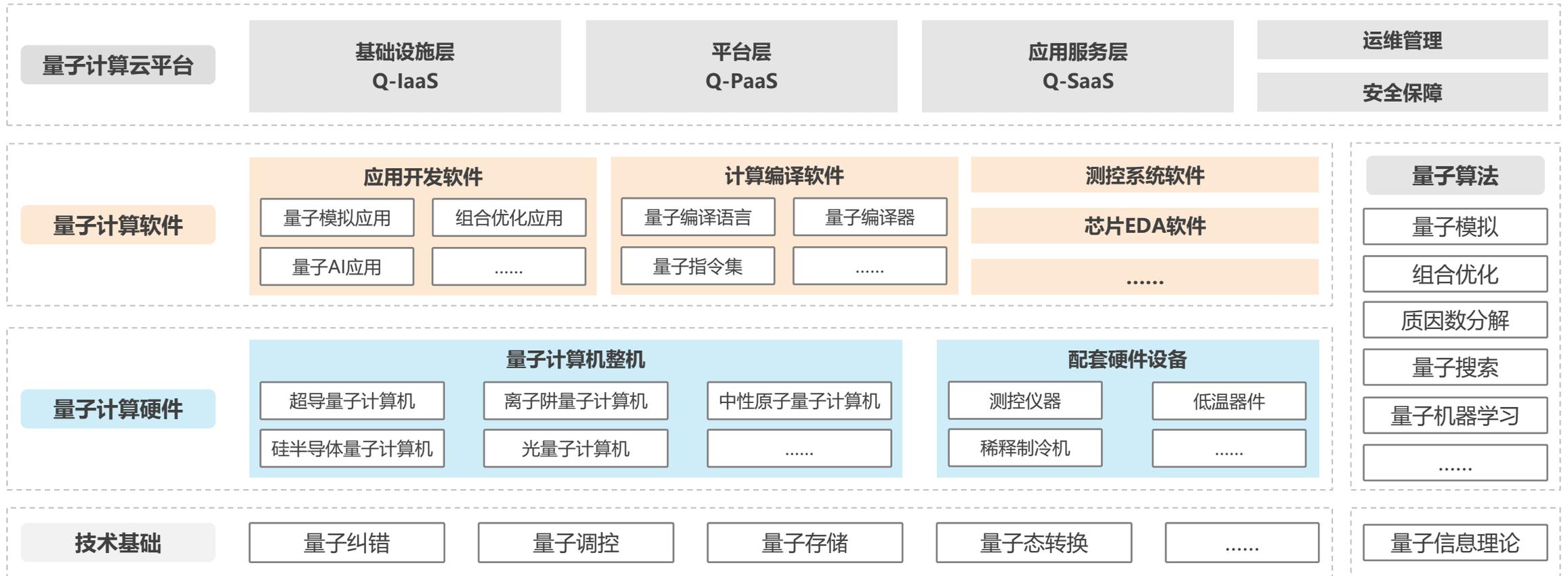
03 量子计算商业化应用落地潜力及场景赋能价值分析

- 3.1 量子计算在各行业细分场景的应用潜力分析及落地时间预测
- 3.2 量子计算+金融
- 3.3 量子计算+生物医药
- 3.4 量子计算+信息安全
- 3.5 量子计算+交通物流
- 3.6 量子计算+能源

量子计算的体系结构主要由硬件和算法构成，企业纷纷探索通过云平台提供算力服务

- ◆ 硬件、软件和算法是构成量子计算技术体系的三大支柱，而量子计算云平台可集成三者的能力并向用户提供服务，另一方面，要想实现量子计算对产业的真正赋能，也离不开量子纠错、量子调控等技术基础作支撑。
- ◆ 硬件方面，除了核心的量子计算整机之外，测控系统、稀释制冷剂、低温器件等配套硬件也必不可少；软件方面，主要包括应用开发软件、计算编译软件和芯片EDA软件等；算法主要包括量子模拟、优化组合等。

亿欧智库：量子计算技术的体系架构



中国量子计算产业链日渐完整，涵盖从设备到核心软硬件再到应用探索的各环节

◆ 在国家战略布局及政策和资金的支持下，近十年来中国量子计算产业链上下游企业加速创立，中游硬件整机和软件系统企业不断增加，硬件技术路线以超导、离子阱、光量子为主流，涌现了很多代表性企业，同时，上游配套硬件设备企业也逐步丰富，共同探索下游应用场景。

亿欧智库：中国量子计算产业链图谱



硬件是短期内突破重点，以企业技术积累为基础，已涌现超导、离子阱、光量子等优势路线

- ◆ 量子计算硬件技术路线的差别主要在于根据不同的物理体系构筑量子比特和量子逻辑门。其中，超导路线通过微纳加工技术在芯片表面刻蚀约瑟夫森结，以相对受控的形式产生超导振荡电流，以振荡电流的振幅代表量子比特，并利用其相互作用构建量子逻辑门；离子阱路线采用带电离子，以其外层能级结构代表量子比特，通过激光或微波等手段构建量子逻辑门；光量子路线则利用光子的多种自由度实现量子态编码和量子位构建。
- ◆ 不同企业量子计算硬件路线的选择虽很大程度上基于学术上的传承，但更要考虑产业化的应用落地转化，也给产业链上的企业提供了新思路。

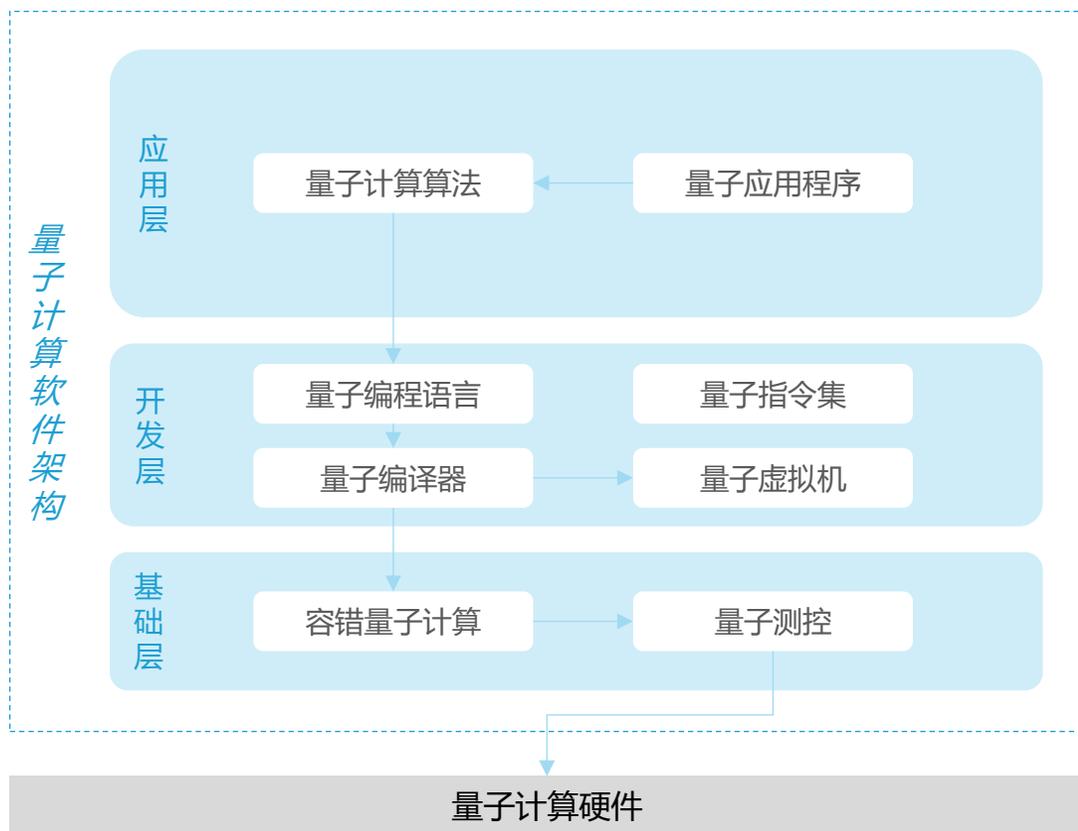
亿欧智库：量子计算不同硬件技术路线对比

	人造粒子路线		天然粒子路线		
	超导路线	硅半导体路线	离子阱路线	光量子路线	中性原子路线
主要优势	<ul style="list-style-type: none"> 学术路径相对成熟 门操作速度快 与现有集成电路技术兼容性强 量子比特数更易扩展 	<ul style="list-style-type: none"> 半导体兼容性 门操作速度快 	<ul style="list-style-type: none"> 扩展性强，能够实现完整的量子逻辑门操作 量子比特数量扩展快 成本控制能力较强 	<ul style="list-style-type: none"> 环境友好性 量子比特保真度高 长时间相干性 成本控制相对容易 	<ul style="list-style-type: none"> 量子比特数量规模大 高保真度 构建多维列阵的潜力
待突破点	<ul style="list-style-type: none"> 量子比特数增加后的精确校准 超导量子芯片敏感度高，机器系统复杂 	<ul style="list-style-type: none"> 量子比特数量的快速扩展 操作精度提升缓慢 	<ul style="list-style-type: none"> 工程性的技术突破和迭代 操作起来慢，对激光需求较高 	<ul style="list-style-type: none"> 大规模量子比特的稳定调控 光子的生成、操作和检测难，需高精度操控技术和设备 	<ul style="list-style-type: none"> 测量时依赖原子荧光，影响系统稳定性 量子门操作速度慢 测量和初始化的特征时间慢
未来趋势	<ul style="list-style-type: none"> 增加量子比特数、探索可扩展性机制 提高保真度 延长相干时间 	<ul style="list-style-type: none"> 降低测控信号、量子位噪声影响等 提纯材料以延长相干寿命 	<ul style="list-style-type: none"> 更高性能离子阱 扩展单离子阱计算架构下的比特数量 研制稳定的激光系统 	<ul style="list-style-type: none"> 研制高性能光源与光子探测器 改进光子集成芯片 研制光子间的纠缠方案 	<ul style="list-style-type: none"> 提升精确测控能力 降低原子所受碰撞影响 研制多维列阵连接方式

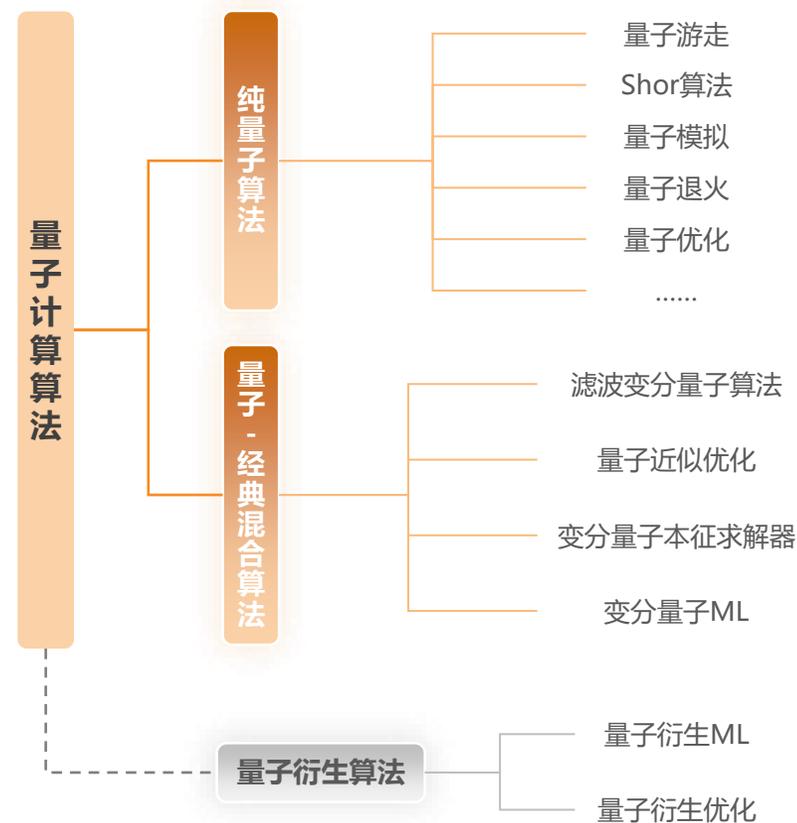
软件和算法是构成量子计算系统的关键，但目前尚处在系统开发和生态构建的初期阶段

- ◆ 从量子计算系统生态整体角度考虑，软件是不可或缺的环节。现阶段，量子计算机硬件是产业链玩家集中突破的重点，因为软件、算法等价值的发挥本质上需要依赖硬件提供的计算能力，但要真正解决实际问题，仍然离不开软件的发展。
- ◆ 量子计算软件系统包括三层架构，基础层与硬件连接，支持量子芯片的运维，并支撑量子算法的运行；开发层主要提供开发量子应用的工具链体系，包括编译器、开发工具等；应用层重点提供量子计算算法和量子应用程序，解决特定领域和场景的痛点。

亿欧智库：量子计算软件架构梳理



亿欧智库：量子计算算法的主要分类



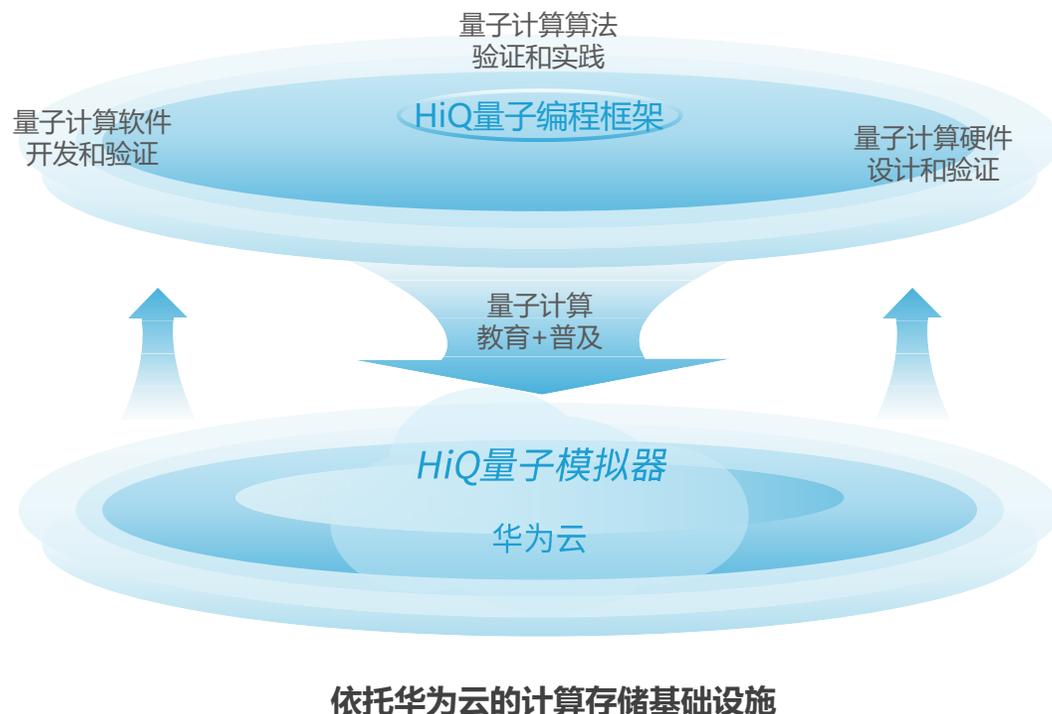
云平台是量子计算技术快速实现商业化落地的可行性方式之一，正成为企业部署的重要环节

- ◆ 量子计算云平台正在成为量子计算技术走向应用落地的关键，工信部等机构也发文鼓励量子计算云平台的合理布局。和传统的云平台类似，量子计算云平台为用户提供了一个可远程访问并使用量子计算资源的接口，现阶段已有很多地方数据中心考虑部署量子计算相关算力，未来可以选择将量子计算机部署在数据中心中，或者部署在量子计算企业的机房里。
- ◆ 但另一方面，量子计算云平台能否真正实现较好的商业落地，关键在于其能否为客户解决实际业务问题或产业应用问题，本质上来说，云平台只是一个帮助用户更灵活、方便地接触和使用量子计算资源的工具，可利用其进行体验、教学、科研等，并应用于金融、制药、物流等实际场景。

亿欧智库：中国主要量子计算云平台发展情况

硬件路线	云平台主体	云平台名称	量子比特数
超导	中科大&国盾量子	量子计算云平台	176; 12
	北京量子院	Quafu (夸父)	136; 18; 10
	本源量子	本源量子云	12
	浙江大学	太元一号	10
	中国移动&玻色量子	五岳量子计算云平台	20
超导/离子阱	百度	量易伏	8; 10; 1
	弧光量子	弧光量子云平台	66; 11
光量子	图灵量子	SoftQubit	-
中性原子	武汉量子院&中科酷原	酷原量子云	-
模拟器	华为	HiQ	42; 81; 169
	阿里	太章	81

亿欧智库：华为HiQ量子计算云平台架构

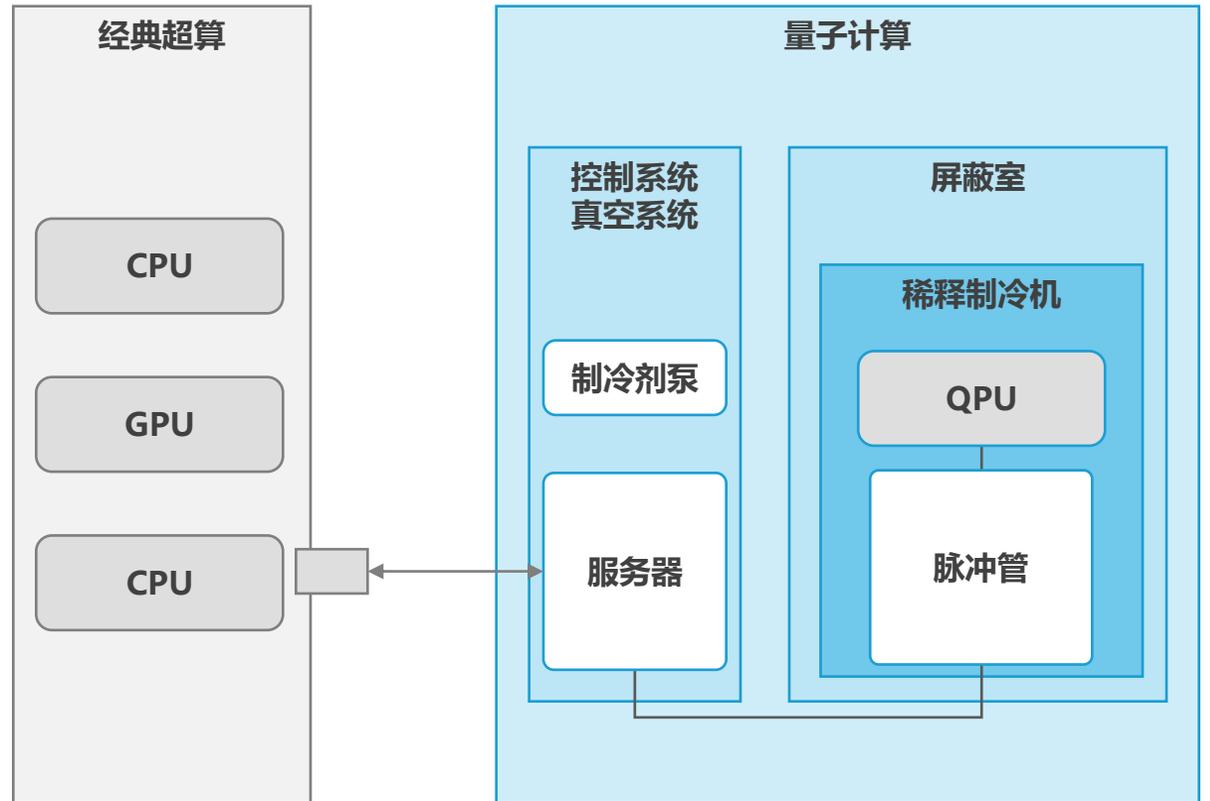


- ◆ 量子计算作为新兴计算方式，能够解决很多经典计算无法解决的问题，但另一方面，量子计算也有其应用局限性，因此很多企业开始寻求与地方数据中心的合作，探索量子计算和经典超算融合发展的潜在可能，“量超融合”可以协同量子计算的并行处理能力和经典超算的高效计算能力，提高针对复杂问题的解决效率。
- ◆ 虽然已有部分企业开始探索并尝试量超融合，但大部分相关项目仍在建设周期之内，短期内或难看到明确的应用效果，且面临着硬件稳定性和算法优化等方面的挑战，需要各方协作探索更多可能性。

量超融合赋能更多场景，提高计算效率

- 中国量子计算技术逐步成熟，量子比特数不断突破，计算能力也随之提高，从而赋能更多场景，但当前工程性建设能力仍有不足，进一步的突破和应用存在局限
- 量子计算虽擅长处理复杂问题，但内存的组织 and 访问能力不及CPU，复杂图形的渲染能力不及GPU，因此，由经典计算机处理数据准备、可视化等基础任务，量子计算机处理复杂计算的混合计算架构将成为趋势
- IBM 指出，计算的未来是以量子为中心的超级计算机，QPU、CPU 和 GPU 将协同工作、加速计算。国外方面，Azure Quantum 量子云服务于 2023 年首次将量子计算和经典计算在云中无缝集成，并允许开发者将经典代码和量子代码混合使用；国内方面，本源量子目前已接入三个超算中心（上海超算中心、国家超算郑州中心、国家超算成都中心），利用量子计算和超算各自的优势进行协调计算，目前基于超算和悟空量子计算机的融合计算平台已建设完成，用户可以在线申请使用

亿欧智库：量子计算与经典超算协同运行的硬件概念图示



- ◆ 量子计算与AI技术的融合将助力突破当前技术边界，为产业带来解决复杂问题的创新路径。
- ◆ 二者的结合点更偏软件和算法层，主要聚焦两方面：一是利用创新的AI算法加速量子计算机的硬件研发和升级，市场上已有一些尝试出现；二是利用量子计算机加速AI在特定领域的研究和突破，包括神经网络、机器学习等相关算法结构，也已涌现出了部分成果。
- ◆ 虽然和行业级别的应用场景相比，量子计算在AI领域的研究和开发更偏向工具层，目前还未直接和实际的业务问题相结合，但产业链相关企业仍普遍认为量子计算在AI领域的应用有广阔前景。

量子计算赋能AI突破发展

量子计算可解决AI算力瓶颈

- **提高机器学习效率：**量子计算可助力机器学习模型训练效率提高，并基于并行处理能力高效分析复杂大规模数据集
- **提高模式识别精度和效率：**量子计算可极大提高数据处理的效率和精度，基于量子计算能实现更高效的模式识别
- **优化复杂模型：**量子计算能够优化复杂的AI模型，解决经典计算难以处理的优化问题

AI赋能量子计算技术优化

AI赋能量子算法和硬件设计优化

- **赋能量子算法优化：**AI技术可协助设计并优化量子算法，探寻更高效的算法方案，并通过机器学习从大量数据中发现最优的算法设计
- **优化量子计算机设计：**AI技术能够优化量子计算机硬件整机设计，包括量子位布局、量子门设计等，提高量子计算机的计算能力和稳定性

挑战

- **技术方面：**量子计算发展阶段过于早期，技术成熟度较低，稳定性不高；同时，量子计算要想与AI模型更好融合，需要开发新的算法或工具，由此也面临一定挑战
- **资源方面：**量子计算与AI技术的融合对数据、算力等资源提出了更高的要求

- ◆ 现阶段，量子计算技术仍不成熟，大部分企业都处在理论积累和技术改进的突破期，但在资金支持和市场需求的拉动下，产业链玩家开始积极探索技术的落地潜力。
- ◆ 从全球视角来看，当前量子计算产业商业模式主要包括三大类：一是提供量子计算整机或芯片产品；二是与行业或场景结合，提供解决方案；三是以云服务形式为企业或科研机构提供量子的算力资源。

提供量子计算整机/芯片

大部分国内外头部量子计算企业均有能力提供整机服务，主要需求方为军队和科研机构等

- IonQ曾披露与美国空军研究实验室的2550万美元量子协议；IBM也向周边技术落后的国家提供量子计算机整机建设和研发服务
- 国内方面，量旋科技深耕教育级量子计算机，赋能科研教学、药物研发、金融等领域
- 芯片方面，中科院量子信息与量子科技创新研究院向国盾量子交付了一款504比特的超导量子计算芯片“骁鸿”，后续还将通过云平台等向全球开放

提供行业/场景解决方案

量子计算企业纷纷探索其产品、技术在各行业场景的落地机会，多采用战略合作的方式进行尝试

- IonQ与UMD国家量子实验室合作，为其提供量子计算服务和设备接入等
- 国内方面，本源量子与平安银行合作，重点在金融风控等领域进行研究和落地的探索
- 启科量子联合中交通信大数据（上海）科技有限公司和上海计算机软件技术开发中心发布了基于量子计算云平台的交通物流大数据解决方案

量子计算云平台服务

头部量子计算企业纷纷开始探索以云平台形式提供算力服务，如国外的IBM Q Experience、Azure Quantum、Amazon Braket；以及国内的本源量子云、Quafu、太元一号等，为企业、科研机构等提供丰富的量子计算资源

- 如IBM基于多年来在量子计算软件、编程标准、编译器标准等领域的持续深耕，更有生态主导权，让企业优先使用其工具和平台，目前IBM云平台按秒计费，费率为1.60美元/运行时秒，整体收入十分可观

目录

CONTENTS

01 六大视角解读量子计算产业

- 1.1 政策视角
- 1.2 投融资视角
- 1.3 技术视角
- 1.4 学术视角
- 1.5 产业链视角
- 1.6 企业视角

02 中国量子计算产业链发展洞察

- 2.1 中国量子计算产业链图谱及关键环节发展概况洞察
 - 2.1.1 硬件技术路线发展洞察
 - 2.1.2 软件开发情况分析
 - 2.1.3 云平台发展概况分析
- 2.2 融合发展现状及趋势分析
 - 2.2.1 量子计算与经典超算融合
 - 2.2.2 量子计算与人工智能结合
 - 2.2.3 量子计算商业化趋势

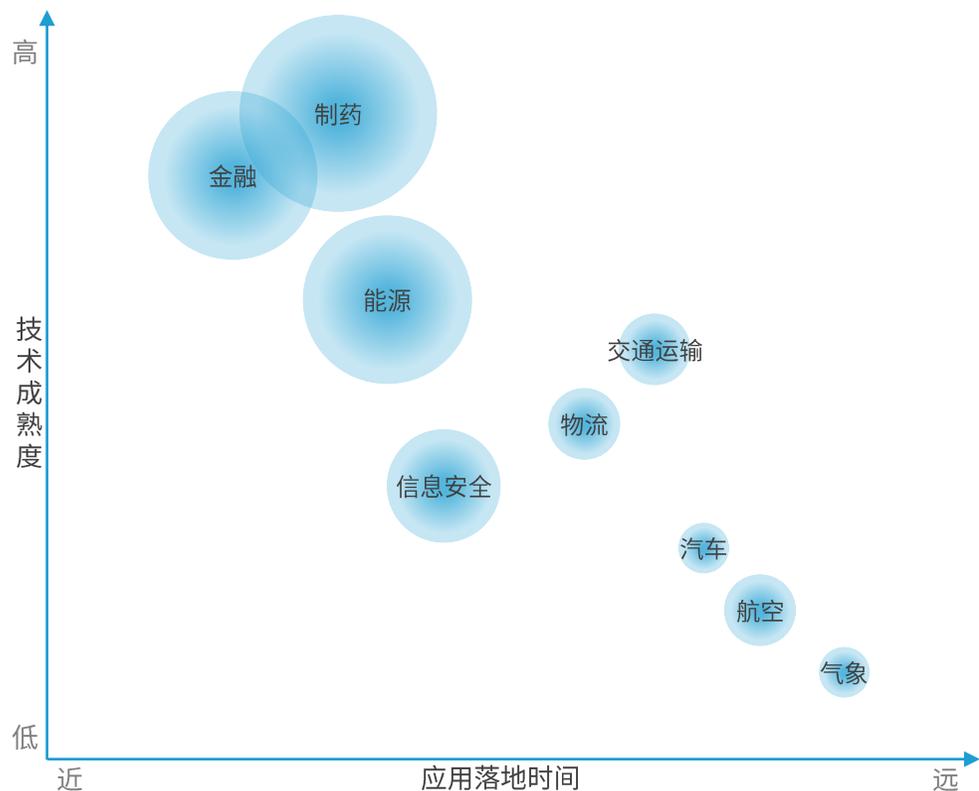
03 量子计算商业化应用落地潜力及场景赋能价值分析

- 3.1 量子计算在各行业细分场景的应用潜力分析及落地时间预测
- 3.2 量子计算+金融
- 3.3 量子计算+生物医药
- 3.4 量子计算+信息安全
- 3.5 量子计算+交通物流
- 3.6 量子计算+能源

从落地潜力来看，量子计算在金融、生物医药、能源等领域的应用机会大，入局企业数量多

- ◆ 现阶段，量子计算已逐渐走出实验室，走向行业场景应用探索阶段，从应用探索方向来看，目前主要聚焦量子模拟、量子组合优化、量子线性代数三大领域。
- ◆ 其中，量子模拟应用聚焦物理模型、生物制药、材料研究等领域；量子组合优化是以量子算法解决组合优化问题，通常在经典计算中难以获得全局性最优解，主要应用于涉及复杂多变量组合优化的金融、交通规划、气象预测等领域；量子线性代数基于量子计算机解决涉及矩阵和向量的线性代数问题，量子机器学习、密码破译等领域是主要应用方向。

亿欧智库：量子计算在各行业领域的技术和应用成熟度



*注：气泡大小代表入局企业数量

数据来源：ICV，光子盒研究院，亿欧智库

亿欧智库：量子计算在各行业领域的具体应用场景及预计落地时间

	量子模拟	量子组合优化	量子线性代数	预计落地时间
金融	衍生品定价	投资组合 风险管理	信用评分和 欺诈检测	5-10年
生物医药	药物分子设计	药物筛选		5-10年
能源	地质勘探	虚拟电厂聚合 资源优化		5-10年
信息安全	安全体系评估		密码破译	5-10年
物流		物流线路优化		5-10年
交通运输		交通干线规划		10-15年
汽车	电池设计		自动驾驶	10-15年
航空	飞机研发 燃料电池模拟	飞行路径优化		15-20年
气象		提高天气预报 准确性		15-20年

*注：目前应用落地时间为依据初步案头预测所得，在后续研究及访谈验证后或将做进一步调整

◆ 国内对量子计算的应用探索最为积极的就是金融领域，2022年，中国人民银行发布的《金融科技发展规划（2022-2025年）》中提出，探索运用量子技术突破现有算力约束、算法瓶颈；提升金融服务并发处理能力和智能运算效率，逐步培育一批有价值、可落地的金融应用场景。为响应国家政策，工行、中行、农行等国有大行以及华夏银行、平安银行、民生银行、招商银行等股份制银行纷纷与产业链企业合作，探索量子计算落地场景。

- 量子计算可以助力金融机构解决经典计算需要长时间处理的问题，如大规模金融风险管理、预测和优化等
- 此外，量子计算将持续拓宽金融业务边界，随着量子计算技术的普及和应用，金融机构能更准确地分析用户和市场数据，识别风险和欺诈等异常行为并作出高效响应

亿欧智库：量子计算主要赋能的金融应用领域

算法类别	具体算法	重点应用场景
量子组合优化算法	量子退火算法	投资组合优化 掉期清算 信用评级模型优化 风险评估预测
	量子近似优化算法	
	变分量子虚时演化算法	
	变分量子本征求解器	
	Grover自适应性搜索	
量子机器学习算法	量子回归算法	时间序列分析及预测 金融数据分类 异常行为检测
	量子聚类算法	
	量子强化学习	
	量子特征提取	
	量子分类算法	
量子模拟算法	量子蒙特卡罗模拟	金融衍生品定价 金融风险分析
	哈密顿量模拟	

案例

- 本源量子：**与平安银行合作，共同开展金融欺诈等领域的量子金融算法研究与落地，同时还将进行量子计算机真机验证，实现量子算法在金融具体业务场景上的应用，将极大提升在反欺诈、反洗钱等业务领域的计算速度，大幅提高银行金融服务的智能化水平
- 北京量子信息科学研究院：**与华夏银行、清华大学合作，在全球首次将量子直接通信应用于商业银行领域，为金融行业提供受物理学定律保护的、已在原理上证明的信息安全方案
- 玻色量子：**基于实际金融场景及需求，联合平安银行共同推出“信贷风险数据降维”优秀真机测试案例，并据此荣登“2023年度产业数字化转型案例”之“新锐科技企业”榜单，代表玻色量子已完全具备通过量子计算实现特征选择、高效降低数据维度的卓越实力，相比传统方法效率更高且能减少人工的干扰，整体提升信用评级模型效果，为金融业提供更有价值的贷款参考信息

- ◆ 当前，国内创新药领域正处于政策鼓励、资本支持的蓬勃发展时期，药企纷纷加强技术和资本投入，医院、等机构但与此同时，创新药研发面临着投入成本大、效率要求高、技术需求高的挑战，对高效的数据分析处理、AI、高性能算力等产生了更大需求，虽然目前各药企都已积极投入AI算力建设，利用GPU等提升计算效率，但新药研发过程中化合物的选择、合成、实验等仍需耗时很长时间，对更强大的算力产生需求。
- ◆ 面向生物医药领域，量子计算能够实现药物研发效率、成功率提高，并通过创新手段赋能其实现突破性发展。



案例

- **本源量子**：2024年8月，本源量子与蚌埠医科大学完成了一项重要突破，将合作研发国内首个量子分子对接应用，依托我国第三代自主超导量子计算机，以量子算力加速小分子药物研发流程并提高药物设计效率
- **腾讯量子实验室**：联合医图生科，开发了专门针对药物设计问题的混合量子计算管道
- **量旋科技**：与华大生命科学研究院合作，利用量子算法成功解决了基因组组装的难题
- **玻色量子**：与华大生命科学研究院合作，将聚焦科技创新，基于量子计算在生命科学中的应用场景，联合打造“量子计算+生命科学”行业的真实场景解决方案

当前，国内量子计算在生物医药领域的落地更多处在场景探索的初期阶段，预计未来5-10年内将陆续看到成果落地

- ◆ 量子计算具有强大的并行处理能力，能够解决经典计算难以解决的问题，或将对信息安全构成新的冲击，例如，Shor算法能在多项式时间内解决整数分解的问题，将对RSA等公钥密码体系构成威胁；但另一方面，也能够为信息安全领域的挑战提供新的思路和解决方案，例如，QKD量子密钥分发能够提供理论上无法被破解的密钥交换方法。

高级别加密技术赋能

- 量子密钥分发：基于量子技术的加密通信方式，确保密钥分发安全可靠
- 量子加密算法：基于量子计算特性，设计比传统加密算法更难破解的加密方法，可有效应对量子计算对传统加密算法的破解风险

量子攻击防御技术创新

- 更好应对量子攻击：量子计算机能在短时间内破解传统加密算法，促使信息安全领域研发新技术
- 量子安全协议：为应对量子计算威胁研发安全协议，如量子签名、量子身份认证等

信息安全技术融合创新

- 促进新技术融合：量子计算技术与传统的区块链、AI等技术融合，提升威胁识别和风险应对能力
- 拓展应用场景：随着量子技术的不断成熟，将可更多应用于数据加密、身份认证、网络安全监测等场景

信息安全产品加速升级

- 产品迭代升级加速：量子技术将促进信息安全产品和解决方案创新，引入新的技术和算法提升安全性
- 产业更新发展：在量子技术的发展下，我国信息安全产业将迎来新挑战，但同时也将驱动产业变革

解决方案及案例

- **中国电信**：量子安全云应用方面，中电信量子集团依托中国电信的网络资源和天翼云的云计算资源，将SDN、商密算法、量子密钥分发等技术融合到广域网场景中，打造了国密量子SD-WAN产品，提供低成本、高安全的跨广域量子加密专线服务
- **本源量子**：2024年4月，我国第三代自主超导量子计算机“本源悟空”装备了国内首个PQC“抗量子攻击护盾”——PQC（后量子密码）混合加密方法，能更好抵御其他量子计算机的攻击，确保运行数据安全。PQC技术能有效抵抗量子计算机的攻击

◆ 交通物流行业是较为传统的劳动密集型产业，近年来通过自动化和智能化转型实现产业升级，例如物流领域，国内头部企业如京东等纷纷建立智能仓库和智能供应链管理体系，应用AGV、天车等技术实现效率提升，为满足场景应用，AGV等设备系统并行工作量不断增加，而AGV调度是复杂的组合优化问题，精确算法虽然可以生成较好的解决方案，但其计算时间慢，难以解决大规模计算任务，因此需要借助量子计算的并行处理能力。

优化路径，提高效率

- 基于强大计算能力，高效优化复杂物流网络，找到最优路径，提高效率

保障安全和隐私

- 利用量子加密技术，确保物流信息的安全性和隐私性

驱动智能化升级

- 开发基于量子计算的智能物流系统，实现智能调度优化，并赋能决策敏捷化

实现绿色物流

- 通过优化路径和提升效率降低能耗和污染，并基于量子技术开发新型环保材料和设备

供应链整体优化

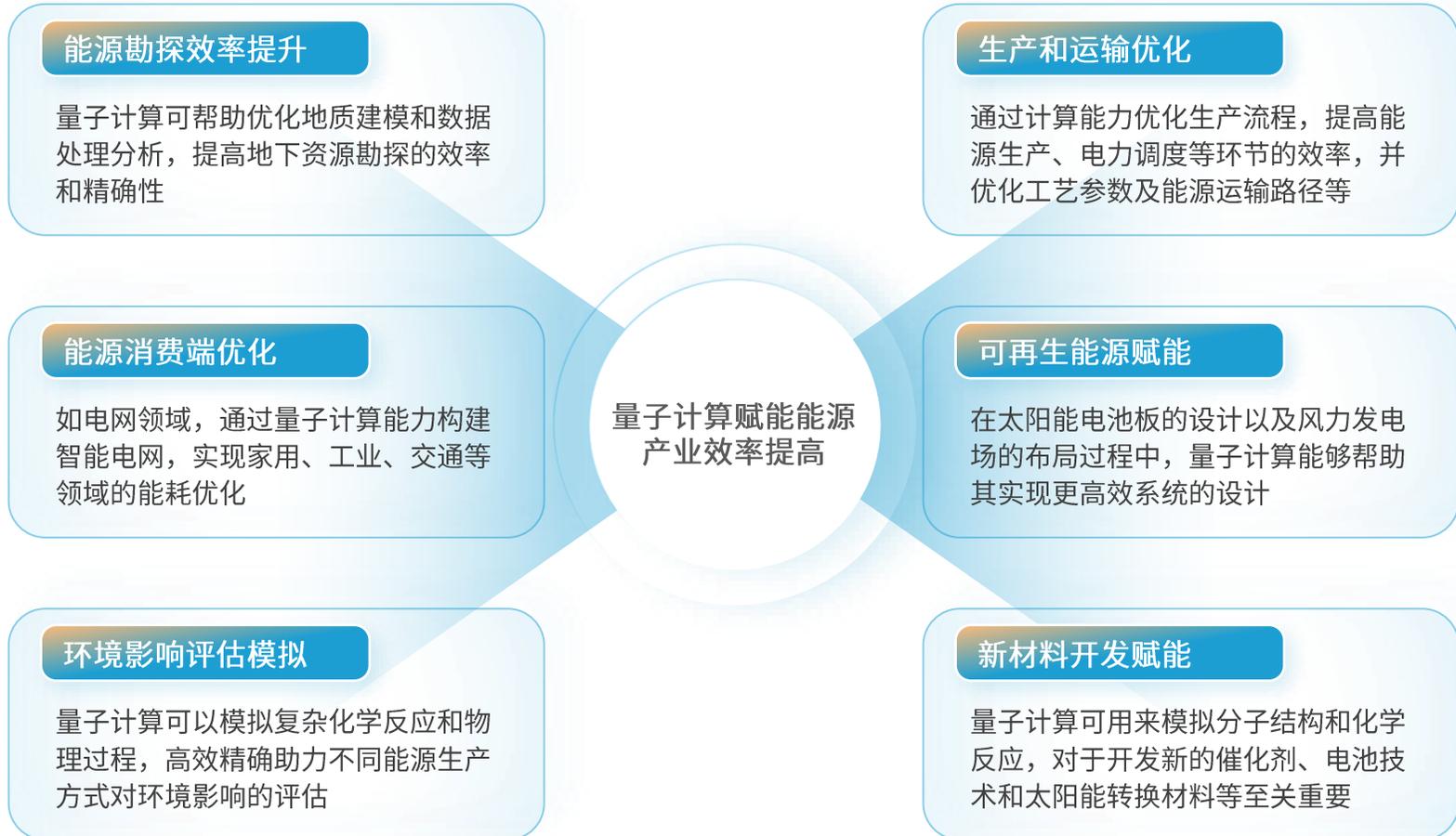
- 面对劳动力短缺、天气变化等复杂挑战，可基于量子计算提供更灵活高效的供应链解决方案

案例

- **启科量子**：与中交通信大数据（上海）科技有限公司和上海软件中心战略合作，联合发布了基于量子计算云平台的交通物流大数据解决方案，共同建设“量超融合”算力中心，将立足长三角地区，服务国家交通运输、海事、港口、航运等行业信息化、智能化发展，持续打造面向智慧城市交通管理、智慧海事、智慧航运、智慧港口、交通运输大数据应用等方面的系列产品及服务能力
- **玻色量子**：随着AGV数量的增加，经典计算方法难以满足大规模调度的需求，而玻色量子自研的相干光量子计算技术具有强大的计算能力，特别是针对组合优化问题优势较大，大幅提高AGV调度的效率和自动化水平。真机测试结果显示，与经典计算方法相比，基于玻色量子自研的100计算量子比特相干光量子计算机真机，平均可节省92%的计算时间

量子计算+能源：面向产业面临的能耗管理、大规模数据分析等挑战，量子计算提供更优方案

- ◆ 能源产业规模庞大，涉及电力、石油、煤矿等重要领域，随着全球气候变化的加剧以及智能化管理需求的提高，产业整体都面临巨大的挑战，现有成熟技术对于能源产业的赋能效果均在体系范围内，而量子计算技术的出现将为产业带来颠覆性的变革。
- ◆ 以油气行业为例，基于量子计算强大的并行处理能力，能够在短时间内分析油气勘探中的海量数据，提高建模的准确度，驱使地质勘探、油藏模拟等领域效率提高。



案例

- **玻色量子**：2023年4月，与北京清大科越股份有限公司达成战略合作，基于电网智能调度、电力市场交易、智能发售及能源互联网等典型业务场景，共同打造电力能源领域的量子计算解决方案
- **国盾量子**：与其参股公司浙江国盾量子电力为浙江省首座量子+变电站35kv变电站提供了设备及技术支持，经过“无限公网+量子”技术改造，有效提升了整站设备通信的灵活性和安全性，并贯通了现有配网量子开关与主网量子+变电站之间的电力信息数据，具备主配网一键联动功能，实现检修停役百秒级负荷调电、用户设备故障秒级自愈

- ◆ 对于很多人和企业来说，“量子计算”仍然是一个很前沿的概念，距离实际应用可能有很大距离，但是作为新质生产力的重要技术方向之一，量子计算技术未来将赋能更多行业领域实现颠覆性变革，选择撰写这份报告也是基于对量子计算产业的关注与应用落地的信心。
- ◆ 本报告重点梳理了中国量子计算产业链的发展现状和发展趋势，围绕量子计算技术在各行业领域的应用价值和落地潜力进行分析，在报告撰写及调研过程中得到了量子计算产业链内多家企业的支持，在此感谢相关企业和行业专家的支持，为报告撰写输出了宝贵的专业观点及建议。
- ◆ 未来，亿欧智库将持续关注量子计算领域，通过对行业的深度观察，持续输出更多有价值的研究成果，助力产业可持续创新发展。欢迎读者与我们交流联系，提出建议。

- ◆ 在此特别鸣谢以下企业和专家对本报告撰写的支持：



袁为 玻色量子市场品牌总监



姚麟 华翎量子CEO



杨林 图灵量子COO

◆ 团队介绍:

亿欧智库 (EO Intelligence) 是亿欧旗下的研究与咨询机构。为全球企业和政府决策者提供行业研究、投资分析和创新咨询服务。亿欧智库对前沿领域保持着敏锐的洞察，具有独创的方法论和模型，服务能力和质量获得客户的广泛认可。

亿欧智库长期深耕新科技、消费、大健康、汽车出行、产业/工业、金融、碳中和等领域，旗下近100名分析师均毕业于名校，绝大多数具有丰富的从业经验；亿欧智库是中国极少数能同时生产中英文深度分析和专业报告的机构，分析师的研究成果和洞察经常被全球顶级媒体采访和引用。

以专业为本，借助亿欧网和亿欧国际网站的传播优势，亿欧智库的研究成果在影响力上往往数倍于同行。同时，亿欧内部拥有一个由数万名科技和产业高端专家构成的资源库，使亿欧智库的研究和咨询有强大支撑，更具洞察性和落地性。

◆ 报告作者:



陈乃天

亿欧智库 高级分析师

Email: chennaitian@iyiou.com

◆ 报告审核:



王辉

亿欧智库 副院长

Email: wanghui@iyiou.com



严方圆

亿欧智库 咨询总监

Email: yanfangyuan@iyiou.com

◆ 版权声明：

本报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于智库的专业理解，清晰准确地反映了作者的研究观点。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。本报告的信息来源于已公开的资料，亿欧智库对该等信息的准确性、完整性或可靠性作尽可能的追求但不作任何保证。本报告所载的资料、意见及推测仅反映亿欧智库于发布本报告当日之前的判断，在不同时期，亿欧智库可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。亿欧智库不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，亿欧智库对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，读者可自行关注相应的更新或修改。

本报告版权属于亿欧智库，欢迎因研究需要引用本报告内容，引用时需注明出处为“亿欧智库”。对于未注明来源的引用、盗用、篡改以及其他侵犯亿欧智库著作权的商业行为，亿欧智库将保留追究其法律责任的权利。

◆ 关于我们：

亿欧是一家专注科技+产业+投资的信息平台和智库；成立于2014年2月，总部位于北京，在上海、深圳、南京、纽约设有分公司。亿欧立足中国、影响全球，用户/客户覆盖超过50个国家或地区。

亿欧旗下的产品和服务包括：信息平台亿欧网（iyiou.com）、亿欧国际站（EqualOcean.com）、研究和咨询服务亿欧智库（EO Intelligence），产业和投融资数据产品亿欧数据（EO Data）；行业垂直子公司亿欧大健康（EO Healthcare）和亿欧汽车（EO Auto）等。

◆ 基于自身的研究和咨询能力，同时借助亿欧网和亿欧国际网站的传播优势；亿欧为创业公司、大型企业、政府机构、机构投资者等客户类型提供有针对性的服务。

◆ 创业公司

亿欧旗下的亿欧网和亿欧国际站是创业创新领域的知名信息平台，是各类VC机构、产业基金、创业者和政府产业部门重点关注的平台。创业公司被亿欧网和亿欧国际站报道后，能获得巨大的品牌曝光，有利于降低融资过程中的解释成本；同时，对于吸引上下游合作伙伴及招募人才有积极作用。对于优质的创业公司，还可以作为案例纳入亿欧智库的相关报告，树立权威的行业地位。

◆ 大型企业

凭借对科技+产业+投资的深刻理解，亿欧除了为一些大型企业提供品牌服务外，更多地基于自身的研究能力和第三方视角，为大型企业提供行业研究、用户研究、投资分析和创新咨询等服务。同时，亿欧有实时更新的产业数据库和广泛的链接能力，能为大型企业进行产品落地和布局生态提供支持。

◆ 政府机构

针对政府类客户，亿欧提供四类服务：一是针对政府重点关注的领域提供产业情报，梳理特定产业在国内外的动态和前沿趋势，为相关政府领导提供智库外脑。二是根据政府的要求，组织相关产业的代表性企业和政府机构沟通交流，探讨合作机会；三是针对政府机构和旗下的产业园区，提供有针对性的产业培训，提升行业认知、提高招商和服务域内企业的水平；四是辅助政府机构做产业规划。

◆ 机构投资者

亿欧除了有强大的分析师团队外，另外有一个超过15000名专家的资源库；能为机构投资者提供专家咨询、和标的调研服务，减少投资过程中的信息不对称，做出正确的投资决策。

◆ 欢迎合作需求方联系我们，一起携手进步；电话 010-53321289，邮箱 hezuo@iyiou.com



扫码关注亿欧智库
查看更多研究报告



扫码添加小助手
加入行业交流群



网址: <https://www.iyiou.com/research>

邮箱: hezuo@iyiou.com

电话: 010-53321289

北京: 北京市朝阳区关庄路2号院中关村科技服务大厦C座4层 | 上海: 上海市徐汇区桂平路391号新漕河泾国际商务中心B座1703

深圳: 广东省深圳市南山区华润置地大厦 C 座 6 层 | 纽约: 4 World Trade Center, 29th Floor-Office 67, 150 Greenwich St, New York, NY 10006