

量子计算云平台的发展前景探究

Exploration of Development Prospects for Quantum Computing Cloud Platforms

过晓春¹,张宇¹,郝锦涛¹,汪波²,郑杰²(1. 联通数字科技有限公司,北京 100032;2. 本源量子计算科技[合肥]股份有限公司,安徽 合肥 230088)

Guo Xiaochun¹,Zhang Yu¹,Hao Jintao¹,Wang Bo²,Zheng Jie²(1. China Unicom Digital Technology Co.,Ltd., Beijing 100032, China;2. Origin Quantum Computing Technology [Hefei] Co.,Ltd., Hefei 230088, China)

摘要:

量子计算云平台通过将量子计算资源与云计算技术结合,显著降低了量子技术的准入门槛,加速了科研与产业应用进程。系统梳理了量子计算云平台的技术架构、功能模型及实现路径,对比分析了国内外发展现状与行业应用实践,并针对当前技术瓶颈与发展挑战提出未来展望。研究表明,量子计算云平台在金融、电力、生物医药等领域展现出显著优势,但其全面推广仍需突破硬件稳定性、接口标准化及生态协同等关键问题。

关键词:

量子计算;云平台;技术架构;行业应用;生态协同
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.10.002
文章编号:1007-3043(2025)10-0007-06
中图分类号:TN914
文献标识码:A
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

Quantum computing cloud platforms, by integrating quantum computing resources with cloud computing technologies, significantly lower the barriers to entry for quantum technologies and accelerate research and industrial application processes. It systematically reviews the technical architecture, functional models, and implementation pathways of quantum computing cloud platforms, compares and analyzes the development status and industry application practices both domestically and internationally, and proposes future prospects in light of current technical bottlenecks and development challenges. The study demonstrates that quantum cloud platforms exhibit significant advantages in fields such as finance, electricity, biomedicine, and others. However, their widespread adoption requires breakthroughs in critical issues such as hardware stability, interface standardization, and ecosystem collaboration.

Keywords:

Quantum computing; Cloud platform; Technical architecture; Industry application; Ecosystem collaboration

引用格式:过晓春,张宇,郝锦涛,等. 量子计算云平台的发展前景探究[J]. 邮电设计技术,2025(10):7-12.

1 概述

量子计算利用量子叠加与纠缠特性,在解决复杂问题(如因子分解、化学模拟)上具备指数级优势。然而,量子计算机需在低温、高真空等严苛环境中运行,高昂的硬件成本与运维复杂度使其难以普及。量子计算云平台通过提供远程访问量子计算资源的服务,

成为推动量子技术民用化的关键载体。国际科技巨头(如IBM、Google等)及国内机构(如本源量子等)均已布局该领域,形成多元化服务模式。

2 量子计算云平台发展现状

2.1 国外发展现状

欧美国家主导全球量子计算云平台发展,美国凭借技术先发优势和技术积累目前占据领先地位^[1]。

IBM、谷歌等科技巨头通过全栈布局(硬件+软件+

收稿日期:2025-08-04

云服务)持续优化量子计算机可靠性与可编程性,其云平台已实现商业化运营,并吸引了广泛的用户群体。欧洲则聚焦上游技术创新与标准化建设,通过定制化稀释制冷机、自动化测控系统等核心技术巩固供应链优势^[2]。

国际量子计算云平台普遍采用多层次架构:底层连接超导、离子阱等异构量子处理器,中层通过统一接口抽象硬件差异,上层提供开发工具与行业解决方案^[3]。当前挑战集中于如何提升量子比特规模与质量、降低噪声影响及培养跨学科人才。欧美厂商正推动量子网络互联与跨国云服务部署,加速量子计算从实验室向工业级应用转型。

2.2 国内发展现状

我国量子计算云平台建设在政策驱动下快速发展,已形成涵盖硬件研发、软件栈构建、云服务供给的完整产业链。政府通过顶层设计将量子计算纳入国家战略,推动技术攻关与产业化落地。

当前,国内量子计算云平台主要由科研机构与企业协同构建,如中科大、本源量子等推出的云平台已开放多比特量子计算机访问,并在金融、政务等领域开展应用探索。尽管在量子纠错、软件工具链等方面仍面临技术瓶颈,但通过AI辅助编译、混合量子—经典算法优化等创新手段逐步突破^[4]。

国内平台注重本地化服务能力,依托国产稀释制冷机、测控系统等自主化设备降低运维成本,并积极探索“量超融合”“量智融合”的新型算力模式^[5]。

3 量子计算云平台需求分析

3.1 适用群体需求

量子计算云平台主要适用群体包括因高昂成本难以独立部署量子计算机的政府机构(G端)、寻求技术突破以提升业务效能的企业(B端)以及开展基础行业应用探索的个人或科研团队(C端),通过云端按需调用量子算力,降低技术门槛与资金压力,助力其在复杂优化、科学模拟、加密分析等领域实现创新突破。

3.2 算力接入需求

量子计算云平台后端架构设计至关重要,不仅需要接入具备前沿影响力的量子算力,以充分挖掘量子计算的独特优势,还应积极整合超算、智算等多种异构算力资源,通过多元算力的有机协同与互补赋能,全方位满足不同行业、不同场景下客户的多样化需求,从而打造出功能完备、灵活高效的量子云计算服务体

系。

3.3 行业应用需求

在推进量子计算云平台建设进程中,应当在平台中同步部署一系列深度契合各行业特性与需求的量子应用,以全面覆盖不同领域用户的差异化使用场景,切实满足前端用户在实际业务操作中对量子计算能力的多样化应用诉求。

4 量子计算云平台架构设计

4.1 技术架构

量子计算云平台技术架构如图1所示。

4.1.1 计算后端

计算后端由量子与经典计算单元构成,是平台的实际算力来源。

a) 量子计算后端。由多个量子处理单元(QPU)组成,典型设备包括超导量子芯片(需稀释制冷机维持接近绝对零度的环境)、离子阱量子计算机等^[6]。每个QPU包含数十至数百个物理量子比特,通过微波脉冲操控实现量子门操作。

b) 经典计算后端。高性能CPU/GPU集群承担两大职责:模拟量子电路行为(用于算法验证与教学演示);作为量子计算的协处理器,执行结果后处理(如态层析成像、误差校正解码)。

c) 量子虚拟化系统。通过抽象层将物理量子资源池化为逻辑上的“虚拟量子计算机”,允许用户独占特定数量的逻辑量子比特,而无需了解底层多台物理设备的拼接细节^[7]。

d) 高性能经典计算集群。支撑三大关键需求:大规模量子态模拟(适用于小规模量子系统的精确建模);量子算法所需的经典优化迭代(如VQE中的参数更新);海量实验数据的分布式存储与快速检索。

4.1.2 系统服务

平台的“神经中枢”^[8],负责协调量子与经典资源的动态分配、任务编排及系统级管理。

a) 系统接口。定义标准化API协议,屏蔽底层异构硬件差异。无论是超导量子芯片还是离子阱设备,均通过统一接口暴露量子操作能力,使上层应用具备跨平台兼容性。

b) 量子/经典服务封装。将底层量子门操作(单/双比特门)、测量统计、随机数生成等原子操作封装为微服务;经典侧则提供数据处理、可视化及混合量子—经典算法桥接功能^[9]。

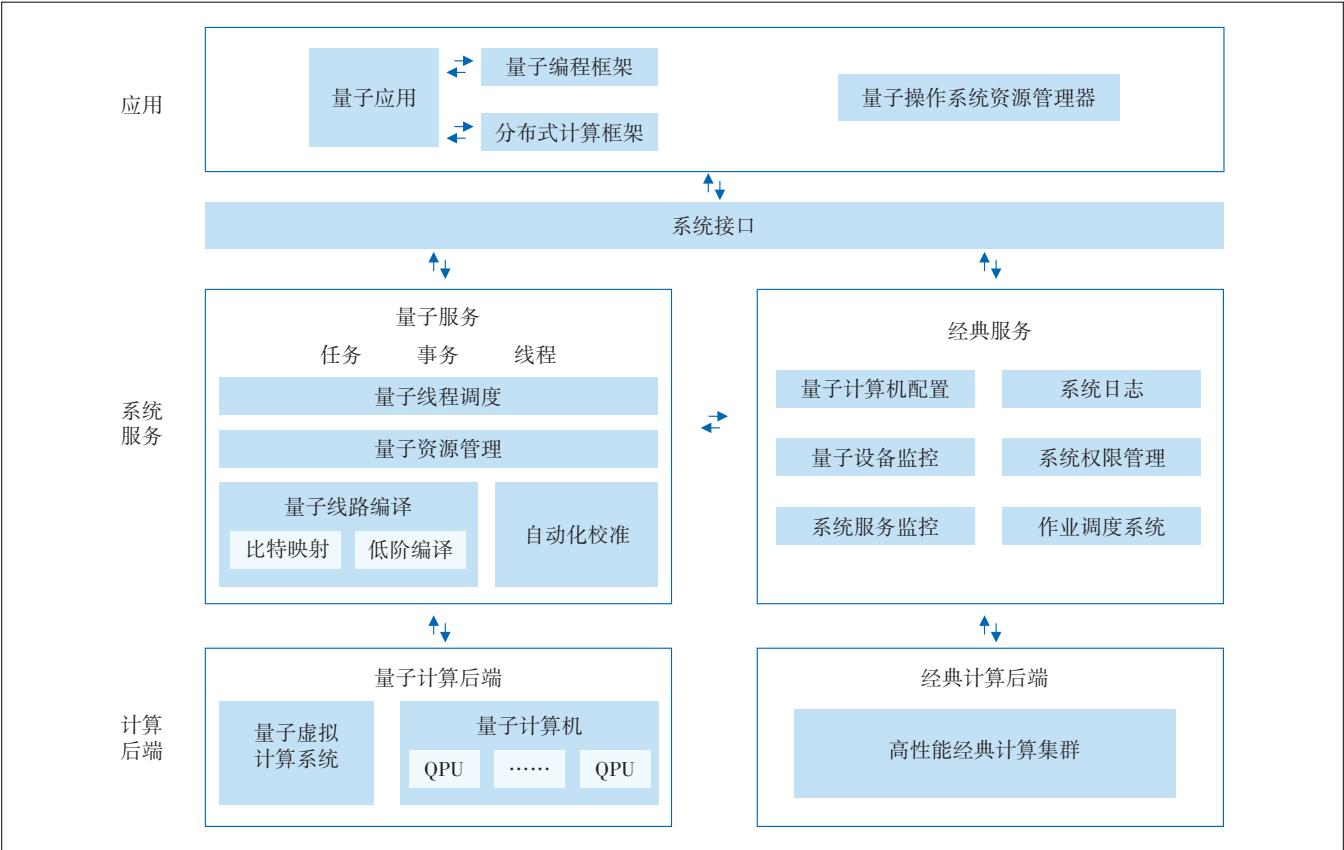


图1 量子计算云平台技术架构

c) 任务与事务管理。构建完整的任务生命周期管理体系,从用户提交量子实验开始,历经编译、排队、执行、结果回传等阶段,支持断点续算与事务回滚机制。

d) 量子线程调度优化。针对量子计算的高延迟特性(因低温设备初始化时间长),设计专属调度策略。例如优先执行短时长任务以减少等待时间,或合并批量相似任务以提高吞吐量。

e) 量子计算机配置管理。存储每台量子设备的物理特性元数据(如量子比特拓扑结构、噪声谱密度、门保真度阈值),供编译阶段选择最优的比特映射方案。

f) 系统日志与审计。全程记录用户操作记录、资源消耗明细及计算结果元数据,既用于故障追溯,也为计费系统提供依据。

g) 权限与安全管理。基于角色的访问控制(RBAC)模型,限制不同用户对量子设备、存储空间及API的访问权限,并通过加密传输保障数据安全。

h) 编译与校准流水线。

(a) 量子线路编译:将高层量子程序转化为可在

特定QPU上运行的低级脉冲序列,需考虑设备连接性限制与门集约束。

(b) 比特映射与布局优化:根据设备拓扑选择最佳物理量子比特分配方案,最小化串扰误差。

(c) 低阶编译与脉冲生成:精确控制微波/激光脉冲的幅度、相位与时长,匹配量子比特的能级跃迁需求。

(d) 自动化校准:持续监测量子门的错误率(如SPAM误差),动态调整脉冲参数以补偿环境噪声导致的性能漂移。

i) 系统监控与自愈。实时采集量子设备的运行指标(如制冷机温度、量子比特弛豫时间 T_1/T_2),结合AI预测潜在硬件故障,触发预防性维护流程。

j) 作业调度系统。基于优先级策略(如加急任务插队、空闲时段填充低优先级任务)管理待执行的量子实验队列,平衡用户体验与设备效率。

4.1.3 应用

直接面向开发者与终端用户,提供便捷的量子计算接入方式与场景化解决方案。

a) 量子操作系统资源管理器。通过智能算法实

时监控量子计算机的负载状态(如可用量子比特数、队列积压量),按需分配计算时段给不同用户。其核心目标是最大化量子硬件利用率,同时保证公平性。

b) 量子应用。聚焦于真实世界问题的量子求解场景,例如材料科学中的分子结构模拟、金融领域的风险组合优化、人工智能中的量子机器学习模型训练等。用户可通过图形化界面或API调用预置的量子算法模板,无需关心底层实现细节^[10]。

c) 量子编程框架。集成主流量子开发工具链(如Qiskit、Qpanda)^[11],支持基于量子线路模型的程序设计。框架内置丰富的量子门库与误差缓解模块,并提供模拟器供本地验证代码逻辑。

d) 分布式计算框架。针对大规模量子电路仿真或参数扫描任务,将复杂计算拆分至多个经典计算节点并行执行。该框架尤其适用于需反复迭代的变分量子算法(VQE)或量子近似优化算法(QAOA)^[12]。

4.2 功能架构

量子计算云平台功能架构如图2所示。

4.2.1 计算后端

作为平台的物理底座,计算后端承载实际计算任务。

a) 虚拟算力系统。依托经典服务器集群构建,通过软件模拟量子计算逻辑,为算法验证、小规模测试及教学演示提供低成本环境,降低量子编程入门门槛,支持快速迭代与基础研究。

b) 真机算力接口。直接对接超导量子芯片等真实量子硬件,提供高精度量子算力,虽受当前量子比特规模限制,但可高效处理关键任务(如分子模拟、组合优化),满足高价值场景需求。

c) 协同机制。虚拟系统保障基础可用性与灵活性,真机接口突破性能瓶颈,两者通过标准化接口动态协同,形成“验证—实战”两级算力体系,优化资源

分配效率。

d) 作用。整合虚拟与真机算力,为前端用户提供分层、可扩展的量子计算服务,覆盖从教育科普、科研探索到产业应用全链条,推动量子技术的普惠化。

4.2.2 系统服务

系统服务构成平台的操作系统内核,负责量子计算任务的全流程管理。

a) 量子语言与编译。提供专为量子计算设计的编程语言及配套的“线路编译”工具链,可将用户编写的高层算法逻辑自动转换为可在量子硬件上执行的脉冲序列或量子门指令集,兼容多种量子处理器架构,简化开发者适配不同硬件的难度。

b) 资源调度与监控。建立动态资源调度引擎,根据任务优先级、量子比特占用量及设备空闲状态,智能分配计算资源(如量子比特、时间片);通过实时监控模块追踪设备温度、量子比特保真度等关键指标,及时预警并调整任务队列,保障计算效率与稳定性。

c) 运维管理。构建完善的系统日志体系,完整记录用户操作、任务执行及设备状态变更历史,支持追溯与审计;采用多租户权限管理机制,通过角色分级控制数据访问权限,实现企业级数据的物理隔离与加密存储,满足行业合规要求。

d) 作用。通过封装量子硬件的控制接口与复杂操作细节,将底层物理层的技术复杂度转化为标准化服务接口,使用户无需掌握量子物理原理或硬件细节,即可便捷调用量子算力完成专业计算任务。

4.2.3 平台工具

作为连接用户需求与底层技术的桥梁,平台工具提供完整的开发和支持环境。

a) 教育与培训。整合量子计算基础课程、案例库及交互式实验环境,通过“课程资源”模块降低学习门槛,涵盖量子编程入门、算法原理及行业应用实践,助

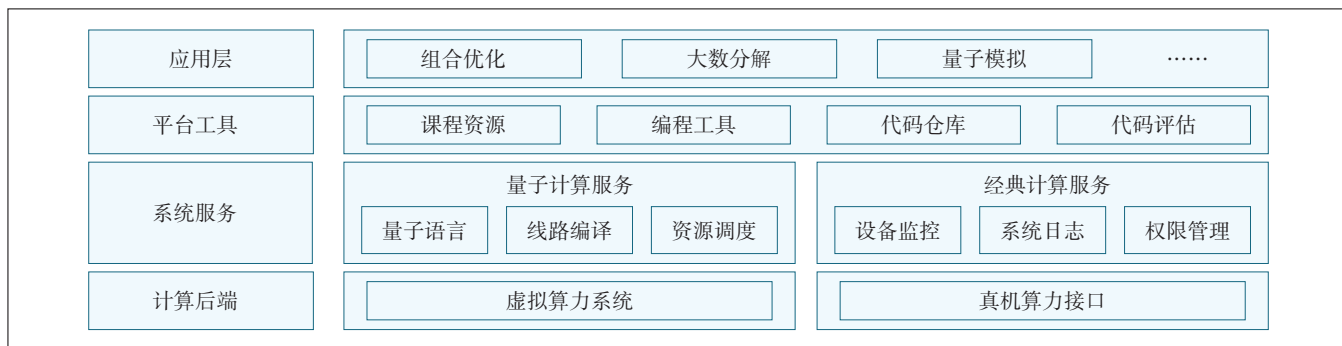


图2 量子计算云平台功能架构

力高校师生与企业工程师快速构建知识体系,培育本土化量子开发人才生态。

b) 开发工具链。集成主流量子编程框架(如Qiskit、Qpanda)的适配接口,提供可视化编程工具与代码调试环境;配套“代码仓库”支持多版本管理与团队协作,结合“代码评估”模块实现性能基准测试与错误定位,形成从设计到部署的一站式开发闭环。

c) 作用。通过标准化工具链与教育资源双轮驱动,既满足专业研究者对算法创新的需求,也为企业提供低代码开发环境,缩短量子应用落地周期,推动量子技术从实验室向产业场景的普惠化渗透^[13]。

4.2.4 应用层

应用层直接面向终端用户的实际业务需求,聚焦于量子计算的高价值场景落地。

a) 应用方向。

(a) 方向1:针对传统计算机难以处理的组合优化问题(如旅行商问题、装箱优化),利用量子退火或变分量子算法实现大规模问题的高效近似求解,适用于物流调度、芯片设计等场景。

(b) 方向2:通过量子模拟直接映射微观量子系统行为(如分子动力学、材料电子结构),揭示经典计算无法捕捉的量子现象,推动新材料研发与药物分子设计。

(c) 方向3:基于Shor算法原理,探索量子计算机对RSA等公钥加密体系的潜在威胁,为后量子密码学研究提供实验平台。

b) 作用。以解决传统计算瓶颈为导向,集中展现量子计算在特定领域的指数级加速优势,通过标杆应用验证量子技术的产业价值,驱动更多行业探索量子解决方案。

5 量子计算云平台行业应用

5.1 电信领域

5.1.1 网络流量动态优化

运用量子优化算法实时感知基站负载与用户需求,动态调配带宽资源,有效缓解高并发场景下的网络拥堵,提升用户体验与网络吞吐量。

5.1.2 量子安全加密

部署抗量子加密(PQC)^[14]技术体系,构建端到端的量子安全通信链路,抵御未来量子计算对传统加密的威胁,保障关键数据传输安全。

5.1.3 频谱资源分配

采用量子近似优化算法(QAOA)对多频段资源进行智能匹配与动态调度,突破传统静态分配限制,显著提升频谱利用率与通信容量。

5.1.4 故障定位与自愈

通过量子机器学习快速识别光纤网络中断节点,结合经典控制系统实现毫秒级故障隔离与修复,大幅缩短网络中断时间。

5.2 金融领域

5.2.1 投资组合优化

基于量子蒙特卡洛模拟构建动态资产配置模型,在风险约束下快速遍历市场波动场景,精准捕捉最优收益组合,提升投资决策效率。

5.2.2 高频交易策略生成

利用量子神经网络分析历史行情数据,挖掘微观市场规律,生成微秒级套利交易信号,增强交易策略的时效性与盈利能力。

5.2.3 信用风险评估

通过量子主成分分析(PCA)提取多维数据集的核心风险因子,构建高精度违约预测模型,降低信贷业务的坏账率与风险暴露。

5.2.4 衍生品定价加速

应用量子幅值估计算法高效计算复杂金融产品的定价模型,将估值时间从小时级缩短至分钟级,支持实时风险对冲与产品创新。

5.3 电力领域

5.3.1 电网负荷预测

整合气象、经济、用户行为等多源数据,通过量子时间序列分析精准预测区域用电峰值,为电网调度提供可靠依据,降低备用容量冗余。

5.3.2 新能源并网调度

采用量子遗传算法优化风电/光伏出力曲线与储能系统的协同策略,减少弃风弃光率,提升可再生能源消纳能力与电网稳定性。

5.3.3 设备故障预警

运用量子异常检测算法监测变压器、输电线等设备的微小状态变化,提前发现潜在隐患,降低设备故障率与维护成本。

5.3.4 电力市场竞价

基于量子博弈论模型模拟多方发电主体的竞争策略,制定最优报价方案,提升发电企业在电力市场的竞争力与收益。

5.4 航空航天领域

5.4.1 飞行器气动设计

通过量子计算流体力学(CFD)^[15]模拟超音速飞行器的空气动力学特性,缩短风洞试验周期,降低研发成本与时间。

5.4.2 航天器轨道优化

利用量子纠缠态并行计算多体引力作用下的最佳变轨路径,降低深空探测任务的燃料消耗,延长航天器服役寿命。

5.4.3 材料疲劳测试

通过量子分子动力学模拟合金材料在极端温度/压力下的微观形变过程,加速新型航空材料的开发与验证。

5.4.4 卫星星座组网

采用量子图论算法规划低轨卫星星座的通信链路拓扑,提升星间数据传输效率与网络鲁棒性,支持大规模卫星互联网建设。

5.5 生物医疗领域

5.5.1 药物分子筛选

通过量子化学模拟快速计算蛋白质-配体的绑定自由能,加速抗癌药物研发进程,降低新药研发的时间与成本。

5.5.2 基因序列比对

利用量子模式匹配算法在海量基因组数据中快速定位致病突变位点,提高遗传病诊断的准确性与效率。

5.5.3 个性化治疗方案

通过量子机器学习整合患者病历、基因数据与医学文献,推荐精准用药方案,推动个体化医疗的发展。

5.5.4 医学影像重建

应用量子图像去噪技术提升MRI/CT图像分辨率,辅助早期肿瘤检测与诊断,提高疾病筛查的灵敏度与准确性。

6 未来展望

量子计算云平台作为下一代算力基础设施的核心载体,其未来发展将深度融入全球数字化进程,通过持续突破量子硬件稳定性与算法实用化瓶颈,逐步实现从专用工具到通用算力平台的跨越。随着纠错技术成熟与模块化架构普及,云端量子算力将以更低成本、更高可用性渗透至智能制造、生物医药、金融科技等关键领域,与超级计算、智能计算形成互补协同的混合算力体系,驱动复杂系统建模、多目标优化及

大规模模拟的技术革新。平台将加速孵化量子原生应用生态,通过标准化接口降低开发门槛,赋能科研机构与企业快速验证量子优势场景,同时依托数据安全增强技术和行业定制化解决方案,重构药物研发、气候建模、加密通信等领域的生产范式。长远来看,量子计算云平台将成为国家算力网络的重要节点,支撑人工智能、量子互联网等前沿技术的交叉演进,最终推动人类社会在能源转型、生命科学、材料创新等重大议题上取得突破性进展,开启以量子智能为特征的新质生产力时代。

参考文献:

- [1] 郭国平. 抓住量子计算战略窗口期[J]. 国企管理, 2025(7): 28.
- [2] 郝苑辰, 解宇恒, 唐建军. 量子计算云平台的技术演进与发展趋势[J]. 电信科学, 2024, 40(11): 114-124.
- [3] 崔子嵬, 王维语, 翁文康. 量子云计算平台的现状与发展[J]. 信息通信技术与政策, 2020(7): 43-48.
- [4] 吕品, 苑涛. 量子计算云平台的应用生态建设和发展建议[J]. 信息通信技术与政策, 2024, 50(7): 18-23.
- [5] 温济聪. 我国自主研发超导量子计算云平台上线[J]. 仪器仪表用户, 2020, 27(10): 21.
- [6] 张萌, 王敬, 赵文玉, 等. 量子计算云平台的架构与发展[J]. 信息通信技术与政策, 2023, 49(7): 27-35.
- [7] 王振, 王乾坤, 王翰逸, 等. 量子-经典融合算力架构与发展[J]. 信息通信技术与政策, 2025, 51(1): 89-96.
- [8] 于海峰. 超导量子计算云平台[J]. 物理, 2023, 52(11): 744-750.
- [9] 康妍. 一种基于云计算的资源调度方案的研究与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2021.
- [10] 郭红丽, 杨瀚城, 姚星星, 等. 基于量子计算云平台的量子搜索算法实验教学探究[J]. 实验技术与管理, 2023, 40(6): 81-89.
- [11] 王敬, 董子杰, 张萌, 等. 量子计算关键技术与产业应用发展趋势分析[J]. 信息通信技术与政策, 2025, 51(7): 8-15.
- [12] 李纳川. 基于量子云平台和超纠缠的远程态制备研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2024.
- [13] 魏璐, 马钟, 刘倩玉. 量子计算模拟平台发展综述[J]. 微电子学与计算机, 2022, 39(11): 1-10.
- [14] 童娅, 吴长锋. 我国量子计算云平台上线两大国产量子编程软件[N]. 科技日报, 2022-03-02(5).
- [15] 刘铁男, 杨巍, 魏凡. 量子计算发展与应用动向研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2022, 17(2): 141-148.

作者简介:

过晓春, 毕业于哈尔滨工业大学, 高级工程师, 硕士, 主要从事云计算、人工智能等相关领域的工作; 张宇, 毕业于纽约大学, 工程师, 硕士, 主要从事云计算、云原生及PaaS相关能力研发工作; 郝锦涛, 毕业北京邮电大学, 硕士, 主要从事云计算PaaS产品研发工作; 汪波, 毕业于安庆师范大学, 学士, 主要从事本源量子市场体系的全面推广工作; 郑杰, 毕业于安徽师范大学, 硕士, 主要从事本源量子售前团队管理工作。