

题目编号：CQ-19

# 优化量子计算效率，开启实用量子时代 比赛方案

## 一、发榜单位

量子科技长三角产业创新中心

## 二、题目名称

优化量子计算效率，开启实用量子时代

## 三、题目介绍

本赛题包含两个大方向，参赛者可根据自身兴趣和专长选择其中一个赛题方向，并根据方向下的细分内容进行研究和参赛：

### 方向一：量子算法优化

背景：量子计算凭借其量子并行性与叠加态操控能力，在密码破解、分子模拟、组合优化等领域展现出经典计算无法企及的指数级加速潜力，已成为全球科技竞争的战略制高点。学术界与产业界普遍认为，量子计算有望重塑人工智能、药物研发、能源材料等关键领域的底层技术范式。然而，当前量子计算的硬件水平仍处于中等规模含噪声阶段（**Noisy Intermediate-Scale Quantum, NISQ**），受限于量子比特数目（通常<100 比特）、门操作保真度（约 99.5%-99.9%）及相干时间（微秒至毫秒级），难以支撑 **Shor** 算法、大规模量子相位估计

等深层次量子算法的实际应用。因此，研究如何压缩量子线路深度、降低算法运行时间、提升抗噪声鲁棒性，以及通过分布式架构突破计算规模瓶颈，成为 NISQ 时代推动量子计算落地的核心命题。针对上述问题，赛题设置了四个子方向，参赛选手可任选其一或加以结合开展量子算法优化相关的研究。

### 1. 分布式量子算法

分布式量子算法是突破 NISQ 时代硬件瓶颈的关键技术路径，其核心在于将复杂问题拆解为多个可并行执行的子任务，通过经典通信协议或量子纠缠资源协同多个小规模量子设备，实现“化整为零”的算力扩展。当前量子计算机受限于单机比特数与含噪短深度线路，难以直接求解物流调度、芯片布线等大规模组合优化问题。

要求：本赛题要求选手探索子问题划分策略、量子态编织技术以及混合计算框架设计，构建可适配真机运行的分布式算法体系，结合具体问题分析计算复杂度、纠缠资源消耗等维度，论证分布式架构相较于集中式方案的硬件资源降低，助力大规模实际问题尽早在量子计算机真机上执行，同时开展基于分布式量子算法的量子优越性来源的理论分析。

### 2. 高效率初态制备

量子算法如量子无结构搜索、量子神经网络、量子支持向量机等潜在优越性，常因经典数据到量子态的高效编码瓶颈而受限于理论层面。经典数据通过量子态编码的信息容量存在

理论上限，而精确制备任意量子态需消耗指数级量子资源，这可能导致算法整体加速优势被编码过程抵消。然而，NISQ 时代硬件噪声特性使得精确态制备既无必要亦不可行，反而为近似编码技术提供了容错空间。

要求：本赛题要求选手设计资源友好型量子态编码方案，通过变分量子线路、随机投影或压缩感知等方法，在有限量子资源下实现经典数据到量子态的误差可控映射，并结合具体算法验证其对整体复杂度的影响。

### 3. 高效率算法模块实现

在量子计算从理论向工程化推进的进程中，QFT（量子傅里叶变换）、Grover 扩散算子等经典量子算法模块已成为构建复杂量子算法的基石。然而，当前超导量子芯片受限于二维近邻耦合拓扑与有限原生门集支持，导致传统模块的直接移植面临线路深度膨胀与保真度骤降的双重挑战。

要求：本赛题要求选手基于特定硬件拓扑（如二维晶格或蝴蝶结构），从算法本身数学表达出发，设计各类常用量子算法模块的资源友好型等效或近似线路，给出量子线路到特定拓扑结构硬件的映射方案，并结合实际问题展示设计线路在算法功能上的有效性和硬件资源上的高效性。

### 4. 量子线路编译

量子线路编译是实现量子算法硬件落地的核心环节，其目标是将抽象的逻辑量子门序列转化为适配超导量子计算机原生

门集的可执行指令。当前超导量子硬件受限于二维近邻耦合拓扑与门操作保真度，直接编译复杂算法时易引发线路深度膨胀、运行时间过长等问题。

要求：本赛题要求参赛者针对典型量子算法，设计基于超导芯片原生门集的编译优化方案，重点通过门分解策略优化、并行调度建模以及物理比特映射优化等方法，显著降低量子线路在真机上的运行时间。同时，鼓励选手结合硬件实测参数，构建编译方案的综合评估体系，在保障功能正确性的前提下平衡线路深度、保真度与运行时间指标，探索 NISQ 时代实用化编译器的可行路径。

## 方向二：量子算法应用

背景：量子计算正从实验室走向产业落地，其核心价值在于解决经典计算难以突破的行业瓶颈问题。本赛题聚焦组合优化、物理体系模拟、混合人工智能三大应用领域，要求选手基于真实量子硬件或模拟平台，设计可验证的解决方案，探索量子计算在特定场景中的差异化优势。

### 1. 组合优化问题

组合优化问题在交通调度、芯片设计、金融投资等领域的复杂决策中广泛存在，经典算法在处理高维度、动态约束的场景时面临效率瓶颈。量子计算的并行性与态叠加特性为突破此类问题提供了新可能，但其应用潜力尚未在真实行业场景中得到充分验证。当前挑战在于如何将动态约束、非线性目标函数

等实际问题特征高效映射至量子模型，并设计适配 NISQ 硬件的轻量化求解流程。

要求：赛题组希望选手通过组合优化问题建模，结合真实行业场景，探索量子优化算法的交叉领域应用，提出具有理论优势的量子解决方案并从量子资源消耗、与传统优化算法对比、行业实际需求等角度出发论证方案的可行性与优越性。

## 2. 物理体系模拟

从微观粒子交互到宏观物质行为，复杂物理体系的精准模拟是理解自然规律、设计新型材料的关键，但经典计算受限于维数灾难与近似误差。量子模拟虽具备天然优势，却面临如何将实际物理问题抽象为可执行量子线路、如何验证模拟结果与实际观测一致性的挑战。

要求：赛题组希望选手利用高效的问题拆分、线路构建等方法，并通过改进变分量子模拟等算法的拟设线路、优化方法，探索 NISQ 时代大规模物理体系模拟的发展方向。同时，物理体系模拟并不局限于分子模拟领域，赛题组鼓励选手探索基于物理体系模拟的问题建模，探索其他领域的“类物理体系”模型构建并通过量子算法求解，解决交叉领域应用。

## 3. 混合人工智能

人工智能的进一步发展需突破算力与能效瓶颈，量子计算与经典机器学习的融合为感知、决策等任务提供了潜在的范式革新机会。然而，量子数据编码效率低、噪声干扰下的模型泛

化能力弱化等问题导致混合架构的协同优势难以显性化，缺乏可量化的性能提升证据。

要求：赛题组希望选手构建量子与经典组件的信息交互机制，探索针对特定问题的高效率量子态特征提取与经典信息的量子态转化方法，探索量子噪声对训练、推理的影响，并结合特定问题，从资源消耗、与经典算法对比、行业需求等角度出发论证量子人工智能方法的有效性与优越性。

#### **四、参赛对象**

本题目只设学生赛道。

参赛对象为 2025 年 6 月 1 日以前正式注册的全日制非成人教育的各类高等院校在校专科生、本科生、硕士研究生、博士研究生（不含在职研究生），参赛人员年龄在 40 周岁以下，即 1985 年 6 月 1 日（含）以后出生。

同一作品不得同时参加第十九届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛（以下简称第十九届“挑战杯”竞赛）其他赛道的评比。

参赛对象可以团队或个人形式参赛，每个团队不超过 10 人，每件作品可由不超过 3 名指导教师进行指导。可以跨专业、跨学校、跨单位、跨地域组队，但同一团队所有成员均应符合本赛道相关年龄、身份要求。每件作品只可由 1 所高等院校作为参赛主体提交申报。

## 五、答题要求

1. 具备创新性和原创性，独立设计并完成开发，未与其它单位合作，无知识产权纠纷，此前未公开发布；

2. 参赛者根据所选题目，提交计算应用程序或软件，并以书面形式给出技术报告，内容包括但不限于设计说明、源代码、返回结果、总结报告、核心技术/创新点等。

## 六、作品评选标准

### （一）客观评估维度（50%）

1. 任务契合度：作品是否紧扣赛题方向（如组合优化/量子模拟/混合智能），技术路线与赛题要求的关键挑战是否对应（20%）；

2. 代码可读性：提交的量子程序是否结构清晰、注释完整，能否快速理解算法实现逻辑（15%）；

3. 技术报告质量：技术文档是否完整覆盖问题分析、方法设计、实验结果与结论，图文表述是否专业且易于复现（15%）。

### （二）主观评估维度（50%）

1. 创新价值：方案是否突破传统方法（如提出新型门分解策略、跨领域建模思路），或在现有技术上实现显著改进（30%）；

2. NISQ 适配性：是否充分考虑当前量子硬件的局限性（如噪声、规模），提出的方法是否具备短期工程落地可能性（15%）；

3. 产业潜力：是否锚定真实行业需求（如物流降本、材料研发加速），能否清晰论证方案对产业痛点的解决路径（5%）。

## 七、作品提交时间

2025 年 5 月-8 月，各高校组织学生参赛，安排专业人员给予指导，为参赛团队提供支持保障。

2025 年 8 月 15 日前，各参赛团队通过大赛申报系统提交作品，具体要求详见作品提交方式。

2025 年 8 月底前，由大赛组委会会同发榜单位共同完成初审，确定入围终审擂台赛的晋级作品和团队。

2025 年 9 月，发榜单位安排专门团队提供帮助和指导，各晋级团队完善作品，冲刺攻关参加终审擂台赛，角逐“擂主”。

## 八、参赛报名及作品提交方式

### （一）报名方式

1. 参赛选手登录“挑战杯”官网 [2025.tiaozhanbei.net](http://2025.tiaozhanbei.net)，在“揭榜挂帅”擂台赛报名入口注册账号，登录大赛申报系统在线填写报名信息。报名信息提交后，下载打印系统生成的报名表。

2. 申报人在报名表对应位置加盖所在学校公章。

3. 将盖章版报名表扫描件上传至报名系统，等待系统审核。请参赛选手注意查看审核状态，如审核不通过，需重新提交。

4. 系统开放报名时间为 2025 年 5 月 30 日—6 月 30 日，逾期后系统将自动关闭报名功能。

### （二）作品提交方式



1. 参赛者根据所选题目，提交计算应用程序或软件，并以书面形式给出技术报告，内容包括但不限于设计说明、源代码、返回结果、总结报告、核心技术/创新点等；

2. 申报作品统一打包压缩提交至大赛申报系统，压缩包命名方式为：申报人所在单位-申报人姓名-作品名称-联系电话（例如：XX 大学-张 XX-XX 方案-手机号）。

3. 提交截至时间为 2025 年 8 月 15 日。

## 九、赛事保障

1. 提供两台“天工”超导量子计算机以及 4 张 A100 型 GPU，参赛者可通过创新中心官方平台“量子应用集成平台”（[www.tiangongqs.com](http://www.tiangongqs.com)，通过大赛专页入口提交注册）网站远程访问，免费使用；

2. 比赛相关的操作手册、赛程进展、赛事通知、问题答疑等，可通过“天工”超导量子计算机以及 4 张 A100 型 GPU，参赛者可通过“量子应用集成平台”（[www.tiangongqs.com](http://www.tiangongqs.com)）中的大赛专页进行了解；

3. 本单位针对此次比赛提供专业指导团队，为参赛团队匹配辅导老师，保障赛事过程沟通协调及培训指导，具体对接将在报名参赛后由本单位安排；

4. 其他有关赛事协调事宜，尽可联系赛事专班服务团队，在遵守赛事规则的前提下提供所需支持。

## 十、设奖情况及奖励措施

### 1. 设奖情况

设擂主 1 个、特等奖 5 个（含擂主）、一等奖 5 个、二等奖 5 个、三等奖 10 个，最终授奖数量可视作品申报数量和质量情况动态调整。

2025 年“揭榜挂帅”擂台赛学生赛道获奖情况将按照一定分值计入第十九届“挑战杯”竞赛学校团体总分，具体分值以第十九届“挑战杯”竞赛章程为准。

### 2. 奖励措施

奖金：

本单位将结合项目实际，拟奖励擂主 10 万元；特等奖每支队伍 3 万元（擂主不重复领奖）；一等奖每支队伍 1.5 万元；二等奖每支队伍 1 万元；三等奖每支队伍 0.5 万元。

人才激励：

获奖团队主要成员提供创新中心核心技术部门工作或实习的机会。创新中心技术团队对所有获奖团队优先录用，为优秀人员提供实习或工作机会，得奖选手正式入职创新中心工作上浮薪资。

### 3. 奖金发放方式

获奖名单公布后 60 个工作日内以汇款方式兑现。

## 十一、比赛专班联系方式

### 1. 专家指导团队

人员 1：何老师 18818264048

人员 2：管老师 13451530208

## 2. 云平台技术支持团队

人员 1：王老师 15995753357

人员 2：高老师 18846081074

## 3. 赛务组织服务团队

人员 1：徐老师 18862341965

人员 2：黄老师 15251830671

## 4. 联系时间

如针对比赛流程或题目有任何问题，请于比赛期间的工作日（每周一到周五，上午 8:30-12:00、13:30-17:30）与比赛专班取得联系。

## 附：发榜单位简介

量子科技长三角产业创新中心于2021年12月17日注册成立，是苏州市、相城区、中国电子科技集团、中国电科电子科学研究院四方共建的新型研发机构，中国工程院陆军院士任中心主任。

创新中心全力打造量子基准工程、制造工程、试验工程、计算服务工程、应用生态工程五大工程，致力于成为掌握国际一流水平的量子计算产业体系和核心基础的研发中心与产业基地，构建了“量子芯片+计算机+计算服务平台+智能应用”全产业链贯通的自主可控产业体系，国内体系布局最完善、产业链条最完整；成功研制了256比特超导量子芯片和100比特超导量子计算机；创新中心深度融入了国家/区域量子科技产业战略布局，已成长为我国量子科技产业领域重要战略科技力量。