

# 第一届“天衍”量子计算挑战先锋赛热身赛

## 热身赛说明

共 10 题，必做题 6 道，选做题 4 道

完成 6 道必做题即可参加幸运奖抽奖！

完成 6 道必做题，任意 2 道选做题，还可参加好运奖抽奖！

在热身赛作品提交截止日期前，选手将量子电路、代码、运行结果、任务ID和线路ID打包为压缩包（无法导出为文件的，截图保存为图片），命名为【热身题\_选手名称\_队伍名\_选手联系方式】发送至tianyan@chinatelecom.cn（多次提交以最新版本为准）

[《“天衍”量子计算云平台教程》](#)

[实验室使用教程](#)

## 一. 在“天衍”量子计算云平台上使用 Hadamard 门实现量子叠加，认识单量子门

### 题目描述：

量子门是量子计算中的基本概念，它们是量子比特（qubits）上执行的基本操作。量子门不同于经典计算机中的逻辑门，因为它们可以执行叠加和纠缠等量子特性的操作。在量子计算中，叠加态是量子位区别于经典位的一个重要特性。Hadamard 门（H 门）是创建叠加态的常用量子门。在这个热身题目中，你的任务是使用 Hadamard 门将一个量子位初始化为叠加态，并验证其状态。然后在 Hadamard 门后施加不同的单量子门，观察其状态。

### 任务：

1. 初始化一个量子位，将它置于  $|0\rangle$  态。
2. 使用 Hadamard 门，将量子位转换到叠加态，在仿真机和量子计算真机上分别测量这个量子位的状态
3. 施加单量子门并在仿真机和量子计算真机上分别测量这个量子位的状态，至少应用 3 种不同的单量子门。

## 二. 实现 CNOT 门

### 题目描述：

在量子计算中，CNOT（Controlled-NOT）门是最基本的量子逻辑门之一。它由一个控制量子位和一个目标量子位组成。当控制量子位为 $|1\rangle$ 态时，CNOT 门将目标量子位的状态翻转；当控制量子位为 $|0\rangle$ 态时，目标量子位保持不变。

### 任务：

1. 初始化两个量子位，第一个量子位（控制量子位）的状态为 $|0\rangle$ ，第二个量子位（目标量子位）的状态为 $|1\rangle$ 。
2. 请使用 H 门和 CZ 门，通过量子电路设计，实现一个 CNOT 门的功能。
3. 在仿真机和量子计算真机上分别测量两个量子位的状态变化，对比查看结果。
4. 重复前面的步骤，但这次控制量子位初始化为 $|1\rangle$ ，目标量子位初始化为 $|0\rangle$ 。

### 提示：

1. 记住，H 门是一个单量子位门，它可以将 $|0\rangle$ 态转换为 $|+\rangle$ 态，将 $|1\rangle$ 态转换为 $|-\rangle$ 态。
2. CZ 门是一个双量子位门，当控制量子位为 $|1\rangle$ 态时，它会将目标量子位的状态翻转其相位；当控制量子位为 $|0\rangle$ 态时，目标量子位保持不变。

3.考虑到 H 门和 CZ 门的影响，尝试找出合适的顺序和组合来实现 CNOT 门的转换。

### 三. 制备贝尔态

#### 题目描述：

贝尔态是量子计算中的一种重要量子纠缠态，它由两个量子位组成，可以表示为  $|\text{Bell}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$ 。在这个问题中，你的任务是使用实现一个量子电路用于制备贝尔态，并在量子计算仿真机和量子计算真机上运行，对比查看结果。

#### 任务：

- 1.初始化两个量子位，将它们全部置于  $|00\rangle$  态。
- 2.施加量子门到两个量子位上，实现制备贝尔态的过程。
- 3.在仿真机和量子计算真机上分别测量两个量子位的状态，对比查看结果。

### 四. 超密编码

#### 题目描述：

超密编码是量子信息学中的一种技术，它允许通过一个量子比特传输两个经典比特的信息。在这个问题中，你的任务是使用量子计算仿真机，实现一个超密传输的量子电路，并确保传输状态预期为 ‘11’。

#### 任务：

- 1.初始化两个量子位，将它们全部置于  $|00\rangle$  态。
- 2.按照超密传输的原理，实现量子电路，确保最终状态预期为 ‘11’。

### 五. 制备 9 量子比特的纠缠 GHZ 态

#### 题目描述：

GHZ (Greenberger-Horne-Zeilinger) 态是一种在量子信息科学中非常重要的多体量子纠缠态。GHZ 态以三位物理学家 Daniel Greenberger、Michael A. Horne 和 Anton Zeilinger 的名字命名，他们在 1989 年首次提出了这种态。

GHZ 态是三个或更多量子比特 (qubits) 的纠缠态，可以表示为以下形式：

$$|GHZ\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|000\dots 0\rangle + |111\dots 1\rangle)$$

其中， $|000\dots 0\rangle$ 表示所有量子比特都处于基态 $|0\rangle$ ， $|111\dots 1\rangle$ 表示所有量子比特都处于基态 $|1\rangle$ ，而 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 是归一化因子。

理想条件下，理论上可以制备任意量子比特数的 GHZ 态，但现实中，量子计算机的多个因素会影响 GHZ 态的制备，如读取错误率、量子门的错误率等。“天衍”量子计算云平台可以看到物理真机的各项参数，你的任务是选择合适的区块和量子比特，实现 9 个量子比特 GHZ 态的制备。

#### 任务：

- 1.选择合适的区块和量子比特，初始化九个量子位，将它们全部置于  $|000000000\rangle$  态。
- 2.应用 Hadamard 门：对其中一个量子比特应用 Hadamard 门，将其置于叠加态 $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$
- 3.应用 CNOT 门：接着，使用这个处于叠加态的量子比特作为控制比特，对其他量子比特依次应用 CNOT 门。CNOT 门会根据控制比特的状态来翻转目标比特的状态。

4.产生 GHZ 态：通过这种方式，如果初始控制比特是 $|0\rangle$ ，则所有目标比特保持不变；如果控制比特是 $|1\rangle$ ，则所有目标比特翻转。最终，整个系统进入 GHZ 态  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|000\dots 0\rangle + |111\dots 1\rangle)$ 。

5 在量子计算机真机上运行，预期结果中 $|000000000\rangle$ 和 $|111111111\rangle$ 出现的总数量占比大于等于总结果数的 50%且 $|000000000\rangle$ 与 $|111111111\rangle$ 的数量比接近 1:1。

## 六. 量子比特的 Deutsch 算法实现

### 题目描述：

Deutsch 算法是量子计算中的一个典型算法，它可以解决一个特定类型的问题，即确定一个黑盒函数  $f(x)$  是常数函数还是平衡函数。在这个问题中，要求使用量子计算仿真机实现  $f(x) = x$  的查询门，并使用 Deutsch 算法来确定它的性质。

### 任务：

- 1.初始化两个量子位，第一个量子位（辅助量子位）的状态为 $|0\rangle$ ，第二个量子位（工作量子位）的状态为 $|1\rangle$ 。
- 2.施加 Hadamard 门到两个量子位上，将它们转换到叠加态。
- 3.实现  $f(x) = x$  的查询门，该门对工作量子位的状态进行操作。
- 4.再次施加 Hadamard 门到第一个量子位上，并测量结果。
- 5.根据测量结果，确定  $f(x)$  是常数函数还是平衡函数。

## 七. 实现逆量子傅里叶变换（选做）

### 题目描述：

量子傅里叶变换（Quantum Fourier Transform, QFT）是量子计算中的一种基本变换，它可以将一个量子位的状态转换为傅里叶变换后的状态。逆量子傅里叶变换（Inverse Quantum Fourier Transform, iQFT）则是将一个量子位的状态从傅里叶变换后的状态转换回原始状态。在这个问题中，你的任务是使用量子计算仿真机，实现一个逆量子傅里叶变换的量子电路。

### 任务：

- 1.初始化三个量子位，使其置于  $|000\rangle$  态。
- 2.施加 Hadamard 门到三个量子位上，将它们转换到叠加态。
- 3.对 Q0 施加  $RZ(\pi/4)$  门，对 Q1 施加  $RZ(\pi/2)$  门，对 Q2 施加  $RZ(\pi)$  门。
- 4.按照逆量子傅里叶变换的原理，对量子位进行操作，实现逆傅里叶变换。
- 5.测量三个量子位的状态，查看量子位的状态值。

## 八. 量子比特的 Grover 搜索算法实现（选做）

### 题目描述：

Grover 搜索算法是一种在无结构数据库中搜索特定元素的算法，其搜索效率是平方根的，即搜索时间复杂度为  $O(\sqrt{N})$ ，其中  $N$  是数据库中的元素数量。在这个问题中，你将实现一个 2 量子比特的 Grover 搜索算法，搜索的目标态为 $|01\rangle$ ，你需要编写一个 Oracle 来翻转目标比特的相位，并在量子计算仿真机上运行完整电路。

### 任务：

1. 初始化量子态为 $|00\rangle$ 。
2. 对 Q0 和 Q1 执行 H 门操作。

3. 应用 Phase Oracle，翻转目标比特的相位。
4. 对 Q0 和 Q1 执行 H 门操作。
5. 对 Q0 和 Q1 执行 Z 门操作。
6. 对 Q0 和 Q1 执行 CZ 门操作。
7. 测量结果，确定结果是否符合目标状态。

## 九. 量子比特的 Deutsch-Josza 算法实现（选做）

### 题目描述：

Deutsch-Josza 算法是量子计算中的一种算法，它可以解决一个特定类型的问题，即确定一个黑盒函数  $f(x)$  是常数函数还是平衡函数。在这个问题中，我们处理一个  $\{0,1\}^{2n} \rightarrow \{0,1\}$  的问题，其中 Oracle 题目已经给出，请你完善整个线路并检测  $f(x)$  是否是平衡函数进行判定。

### 任务：

- 1.使用量子计算仿真机，实现 Deutsch-Josza 算法，其中 Oracle 由以下操作组成：
  - 1.1 添加 barrier。
  - 1.2 对 Q1 加上一个 Pauli-X 门（X 门）。
  - 1.3 对 Q0、Q1 和 Q2 加上一个 Toffoli 门（Q2 是目标比特）。
  - 1.4 对 Q1 加上一个 Pauli-X 门。
  - 1.5 添加 barrier。
  - 1.6 对 Q0 加上一个 Pauli-X 门。
  - 1.7 对 Q0、Q1 和 Q2 加上一个 Toffoli 门（Q2 是目标比特）。
  - 1.8 对 Q0 加上一个 Pauli-X 门。
- 2.完善 Deutsch\_Josza 算法电路并将 Oracle 置于规定的位置。
- 3.根据测量结果，确定  $f(x)$  是常数函数还是平衡函数。

## 十. 计算 9 量子比特的纠缠 GHZ 态保真度（选做）

### 题目描述：

量子计算机有望解决许多经典计算机难以处理的问题。实现容错将需要目前尚不可用的资源。在能够实现错误校正之前，量子系统将受到一定噪声的影响。如何最好地对这些近期量子设备进行基准测试是一个活跃的问题。

IBM T.J. Watson Research Center 的科研团队开发了一种基于多量子相干性的可扩展的纠缠度量方法，并在 20 量子比特的超导设备上进行了实验验证。他们报告了一个 18 量子比特 GHZ 态的态保真度为  $0.5165 \pm 0.0036$ ，表明所有 18 个量子比特之间存在多体纠缠。这种纠缠度量方法对噪声具有鲁棒性，并且只需要测量基态中的分布；它可以方便地应用于其他量子设备来验证多体纠缠。

论文提出了一种多量子比特度量方法，特别是测量设备上可能的最大多体纠缠态。作者们在 20 量子比特的超导设备上生成并验证了 18 量子比特的纠缠 GHZ 态。

论文链接：<https://arxiv.org/abs/1905.05720>

你的任务是在“天衍”量子计算云平台上计算 9 量子比特的纠缠 GHZ 态保真度。

### 任务：

- 1.初始化数个量子位，将它们全部置于  $|000\dots 0\rangle$  态。
- 2.实现量子电路
- 3.在量子计算机真机上运行，预期结果保真度  $> 0.5$ 。



如何开始使用“天衍”量子计算云平台实验室

## 1.实验室在哪里

前往[中电信“天衍”量子计算云平台 \(zdxlz.com\)](https://zdxlz.com)



进入实验室

如果您的页面展示为学习中心，从这里进入实验室。

[教学应用平台 \(zdxlz.com\)](https://zdxlz.com)



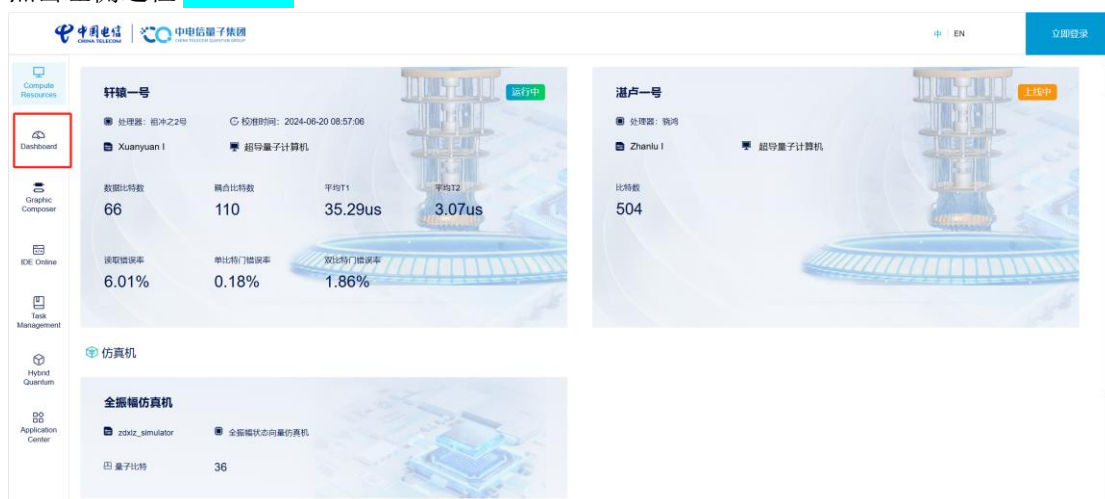
进入实验室



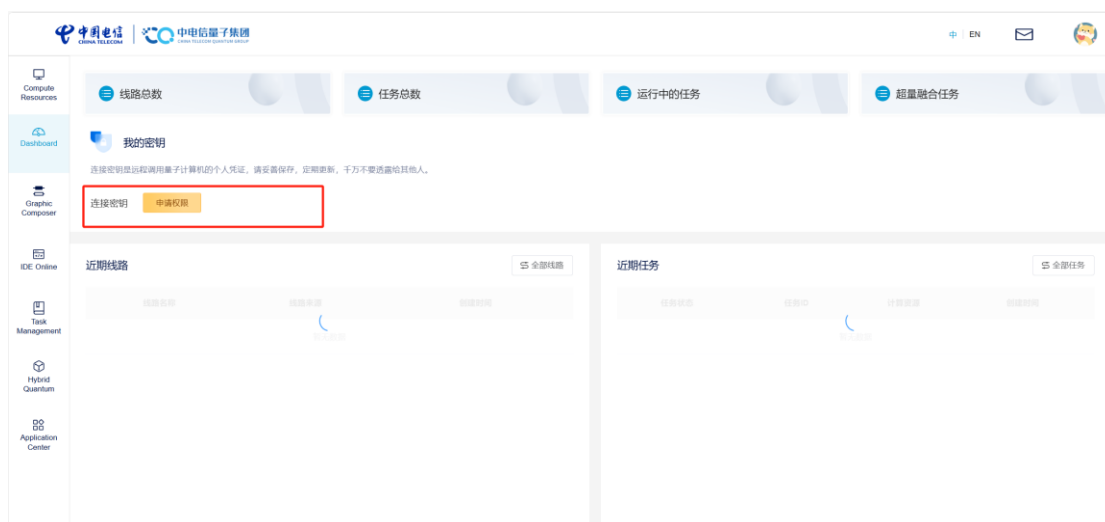
图形化编程一图流

## 2.我无法提交任务，如何申请实验室权限

点击左侧边栏 **Dashboard**



点击申请权限，后台审核通过后，您就可以使用啦！

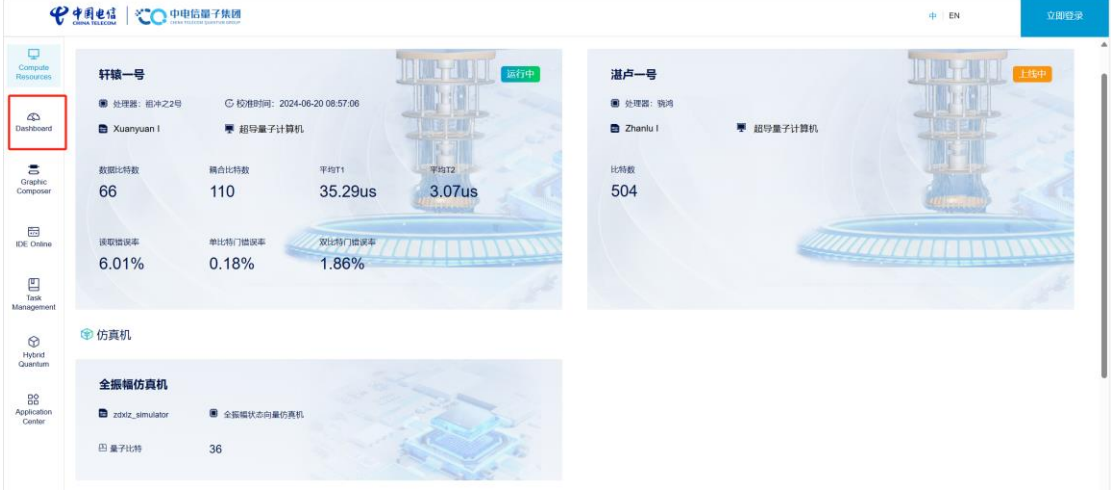




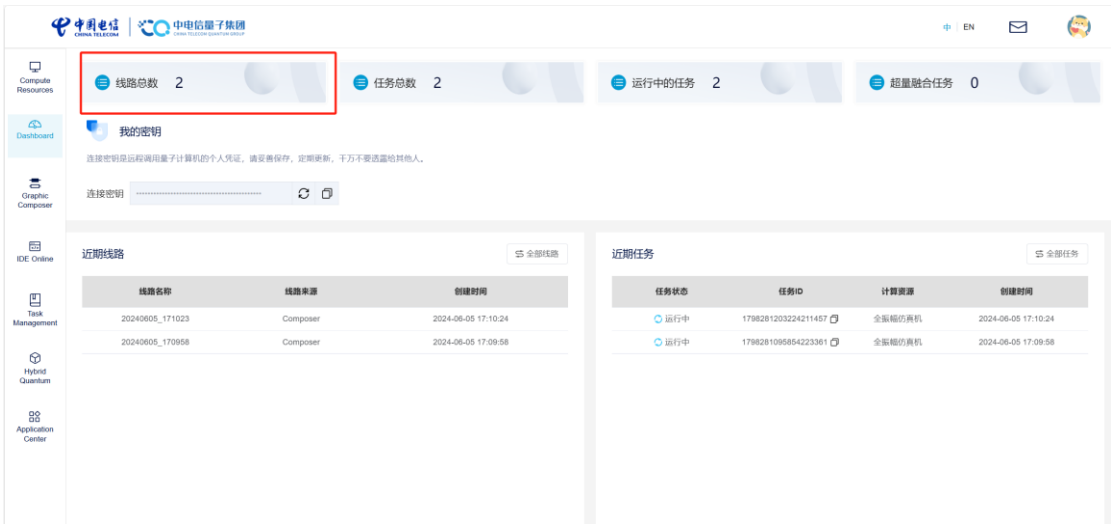
3.任务 ID 和线路 ID 我从哪里看？

3.1 线路 ID

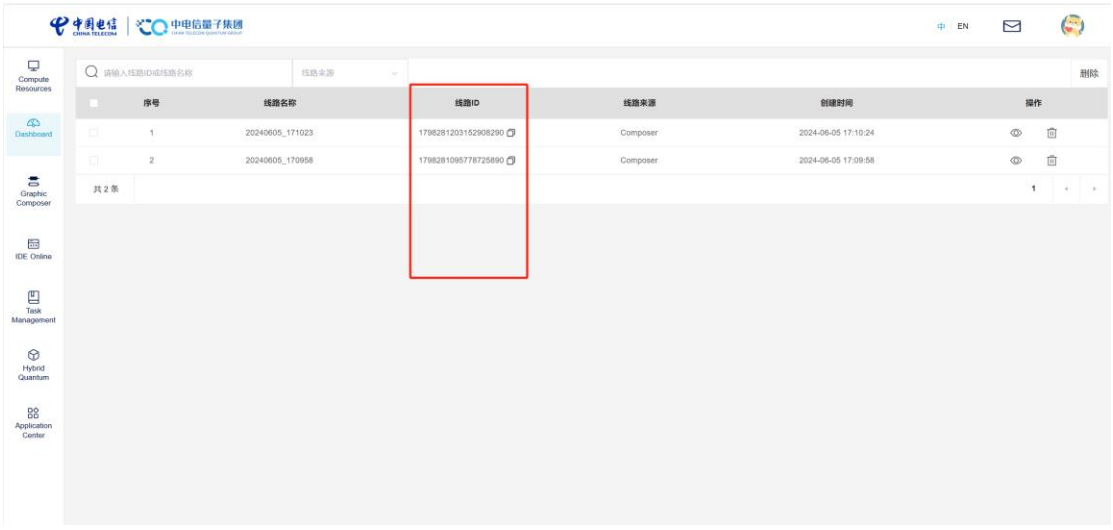
点击左侧边栏 **Dashboard**



点击线路总数



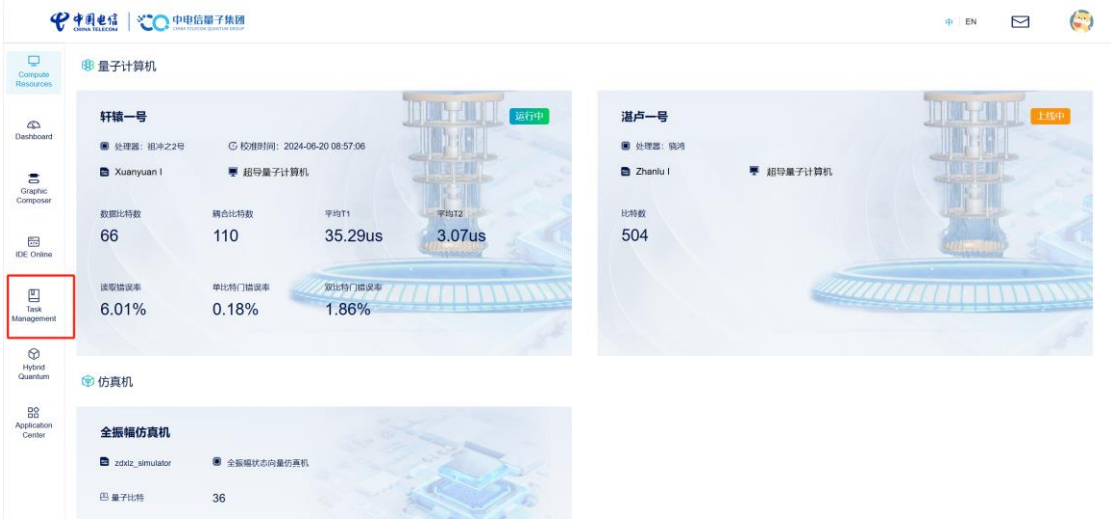
就可以看到你提交的任务的线路 ID 啦！（没有提交任务的话，这里没有信息哦！）





### 3.2 任务 ID

点击左侧侧栏 **Task Management**



就可以看到任务 ID 啦！

