

量子科技

赋能银行数字化转型

研究报告

队伍名称：量男量女队

队员姓名：童开轩 张晨儒 胡倩凝 柳一林 方圆

所在学校：中国科学技术大学

专业年级：2022 级金融学硕士

报告日期：2023. 04. 30





量子科技赋能银行数字化转型研究报告

正文目录

一、行业概览.....	1
1.1 银行业现状概要.....	1
1.2 银行数字化转型发展历程.....	2
二、竞争格局.....	3
2.1 商业银行竞争格局分析.....	3
2.2 波特五力分析.....	5
三、行业表现.....	6
3.1 银行业行业表现.....	6
3.2 银行业数字化转型.....	7
3.3 量子科技行业表现.....	9
3.4 量子科技在银行业的发展和布局.....	11
四、行业展望.....	13
4.1 银行在数字化转型方面的展望.....	13
4.2 量子科技助力银行数字化转型过程的展望.....	14
五、风险提示.....	15
5.1 银行在数字化转型过程中面临的风险.....	15

附录目录

附录 1: 量子与量子理论.....	1
1. 量子的定义.....	1
2. 量子理论 (量子特性).....	1
附录 2: 量子通信类型与原理.....	3
1. 量子隐形传态 (Quantum Teleportation, QT).....	3
2. 量子密集编码 (Quantum Dense Coding, QDC).....	3
3. 量子密钥分发 (Quantum Key Distribution, QKD).....	4
4. 量子秘密共享 (Quantum Secret Sharing, QSS).....	5
5. 量子安全直接通信 (Quantum Secure Direct Communication, QSDC).....	5
附录 3: 量子计算原理.....	6
1. 量子计算技术路线.....	6
2. 量子计算基本原理.....	7
3. 量子并行计算功能的实现.....	8
附录 4: 量子计算的政策支持.....	9
1. 全球性政策支持.....	9
2. 全国性政策支持.....	10
附录 5: 银行业内外部风险.....	11
1. 外部风险.....	11
2. 内部风险.....	11





一、行业概览

1.1 银行业现状概要

(1) 行业简介

在我国，银行业包括中国人民银行、监管机构、自律组织，以及在中华人民共和国境内设立的商业银行、城市信用合作社、农村信用合作社等吸收公众存款的金融机构、非银行金融机构以及政策性银行。

当前，中国商业银行体系主要由 6 家国有银行、12 家股份制商业银行、128 家城市商业银行和多家农村信用社等构成，其中在 A 股上市的共有 42 家。到 2022 年底，六大国有商业银行资产达到了 164.11 万亿元，占据商业银行整体资产的 50%，股份制银行占到近 20%。

表 1.1: 我国银行业金融机构概况

类别	总数	A 股上市数量	上市银行名单
大型国有商业银行	6	6	中国建设银行、中国工商银行、中国农业银行、中国邮政储蓄银行、交通银行、中国银行
股份制商业银行	12	9	招商银行、中信银行、光大银行、民生银行、兴业银行、浦发银行、浙商银行、华夏银行、平安银行
城市商业银行	128	17	北京银行、上海银行、江苏银行、宁波银行、南京银行、杭州银行、长沙银行、成都银行、重庆银行、贵阳银行、郑州银行、青岛银行、苏州银行、齐鲁银行、兰州银行、西安银行、厦门银行
农村商业银行	1596	10	渝农商行、沪农商行、无锡银行、青农银行、瑞丰银行、紫金银行、江阴银行、常熟银行、张家港行、苏农银行
农村信用社等	1450		
银行业金融机构合计	4602	42	

资料来源: Wind

依据中国银行业协会发布的《2022 年度中国银行业发展报告》，2021 年，银行业金融机构全力提升实体经济服务力度，全面推进转型发展，中间业务实现稳步发展。以上市银行为例，2021 年全年实现手续费及佣金净收入 8450.3 亿元，同比增长 8.2%；2022 年一季度实现手续费及佣金净收入 2658.8 亿元，同比增长 3.5%，占营业收入比重为 17.0%。目前仍然是银行卡、结算等传统中间业务占据收入主导，但理财、托管、投行类等中间业务亦得到积极发展。

(2) 银行业务构成

按照我国商业银行资产负债表的构成，银行业务主要分为三类：**负债业务、资产业务、中间业务**。

负债业务是商业银行形成资金来源的业务，是商业银行中间业务和资产的重要基础。负债业务主要由存款业务、借款业务、同业业务等构成。存款、派生存款是银行的主要负债，约占资金来源的 80% 以上，另外联行存款、同业存款、借入或拆入款项或发行债券等，也构成银行的负债。

资产业务是商业银行运用资金的业务，包括贷款业务、证券投资业务、现金资产业务。

中间（表外）业务是银行在资产业务和负债业务的基础上，利用技术、信息、服务网络、资金、信用方面的优势，不运用或不直接运用自己的资产、负债，以代理人的身份接受委托为客户办理各类委托业务事项，或以交易一方的身份提供各类金融服务，并收取手续费或差价的经营活

图 1.1: 我国商业银行的营收结构和业务构成



资料来源: 自主编制, Wind



1.2 银行数字化转型发展历程

(1) 银行数字化发展的三个时期

业务自动化时期。在19世纪70年代，花旗银行开始采用自动提款机解决用户的日常业务。这种自助服务利用磁码卡或智能卡实现金融交易，部分代替银行柜台人员的工作，减少了人工成本，提高了交易效率。

银行电子化时期。随着互联网和移动电子设备的普及，传统银行开始在互联网上进行线上运营，电子银行逐渐流行。最初的网络转账、对账单和电子账单已经发展为越来越丰富的功能，如网上购买、融资、借贷等。2007年，智能手机的兴起推动互联网银行和手机银行成为主要业务渠道，传统实体网点数量有所减少。

银行数字化时期。金融科技开始对银行业发展产生影响，许多银行企业开始依赖于大数据、人工智能、区块链、云计算和生物识别等关键技术，参与者也从传统的银行机构扩展到包括科技公司和互联网公司等其他行业类型的参与者。数字化转型已成为这个阶段最重要的发展主题。具体而言，数字银行利用现代信息技术进行相应的产品创新、业务模式变革、运营方式和管理方式的创新，使银行从原来的物理空间向智能化、网络化的虚拟信息空间转变。未来，随着数字技术在银行业的广泛应用，银行业的数字化转型将不断深入。

图 1.2: 数字化银行发展历程



资料来源：2021 年中国数字银行白皮书

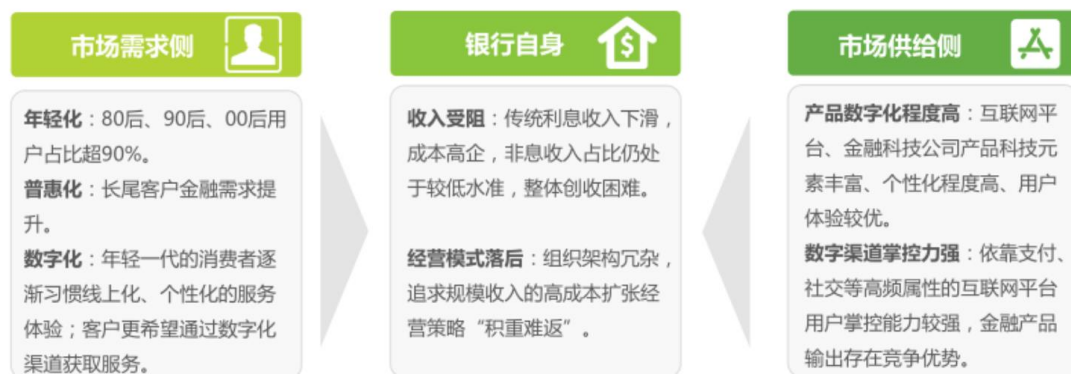
(2) 银行数字化转型驱动因素

需求端：市场行为不断变化，年轻用户更倾向于无纸化、移动化，喜好个性化服务，需要数字化渠道。

供给端：出现金融科技公司、互联网公司等新市场参与者，提供匹配年轻用户需求的数字化产品服务。

银行本身：传统经营模式业务结构复杂、效率低下，致使银行市场竞争力下降，出现客户流失的状况。

图 1.3: 银行数字化转型面临挑战



资料来源：2021 年中国数字银行白皮书



二、竞争格局

2.1 商业银行竞争格局分析

(1) 商业银行竞争格局概览

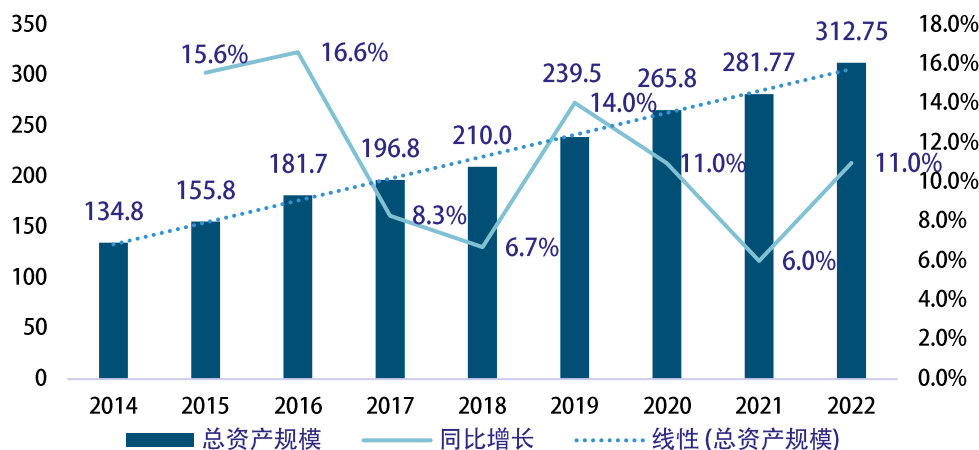
我国商业银行竞争格局主要由 6 家国有银行、12 家股份制商业银行、128 家城市商业银行和多家农村信用社等构成。六大国有商业银行拥有完善的营销网络、广泛的客户群体和丰富的产品和服务线，业务规模大、市场份额高，竞争地位不可撼动；股份制银行包括招商银行、交通银行、兴业银行、中信银行等。相对于国有银行而言，它们较年轻、更为灵活，发展较快，拥有丰富的产品线和专业化的服务，针对中小企业和个人客户提供了很好的金融服务，市场份额不断提高；城市商业银行以华夏银行、平安银行和浦发银行等为代表。它们以城市居民、小微企业为主要客户，优势在于服务当地小微企业和个人客户，较为注重个性化服务；中国农村信用社数量众多，分为省级和县级两个层次。它们主要面向农村地区，服务农村居民、农民专业合作社等客户，拥有广泛的业务网络和深厚的市场基础。

总体来说，中国商业银行竞争格局比较稳定，国有银行仍然占据市场的主导地位，股份制商业银行则在不断追赶，并逐渐崭露头角。城市商业银行和农村信用社也在各自的市场领域发挥着重要作用。

(2) 行业规模增速

资产规模持续增长，同比增速回升。我国商业银行整体资产在经历了 2019 和 2020 连续两年快速扩张后增速有所放慢，到 2021 年末资产规模增速仅有 6%，但随着 2022 年 5 月一系列稳增长信贷政策的出台，银行资产规模增速再次迎来较快提升，截至 2022 年末，我国商业银行总资产为 312.75 万亿元，同比增长 11%。

图 2.1：我国商业银行总资产规模（单位：万亿元）



资料来源：Wind

(3) 我国境内上市银行竞争格局：四大竞争梯队

总资产方面，截止 2022 年末，我国境内上市银行中，六大国有银行总资产均超过 10 万亿，位列上市银行第一梯队，此外招商银行的总资产也达到 10 万亿级别；第二梯队的上市银行总资产位于 5-10 万亿之间，共有 6 家，分别是兴业银行、中信银行、浦发银行、民生银行、光大银行和平安银行；第三梯队的上市银行总资产位于 1-5 万亿之间，共有 10 家，有华夏银行、北京银行、上海银行等；其余上市银行总资产低于 1 万亿以下，有长沙银行、成都银行、重庆银行等，这一梯队上市银行数量最多，达到 19 家。综上所述可以看出，我国银行间资产差距明显，头部国有银行和尾部银行的总资产差距达到 50 倍之多，股份制上市银行中总资产第一名的招商银行 2022 年总资产为 10.14 万亿，与第四梯队总资产第一名的长沙银行的差距也达到了 12 倍。



图 2.2: 我国上市商业银行竞争梯队

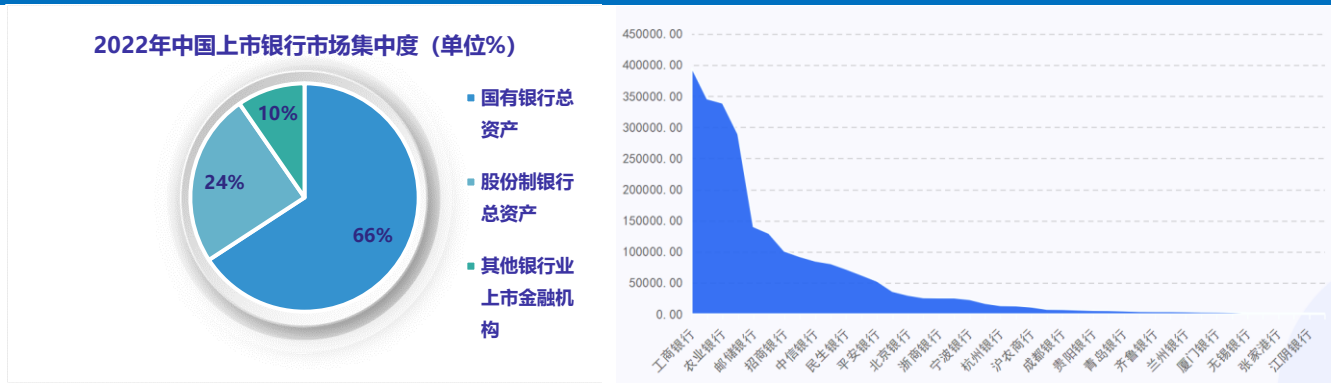


资料来源: Wind

(4) 市场集中度: 头部高度聚集、尾部高度分散

由于业务模式的趋同性, 资金技术投入等有很强的规模效应。国有银行的市场占有率高: 六大国有银行是国家垄断银行, 拥有广泛的分支机构和客户资源, 市场占有率非常高。2022 年末, 国有行占上市银行资产总额的 65.8%。尽管股份制银行的市场份额在逐渐扩大, 但国有银行仍然占据了银行业市场的主导地位。

图 2.3: 我国上市银行市场集中度及总资产分布 (单位: %、亿元)

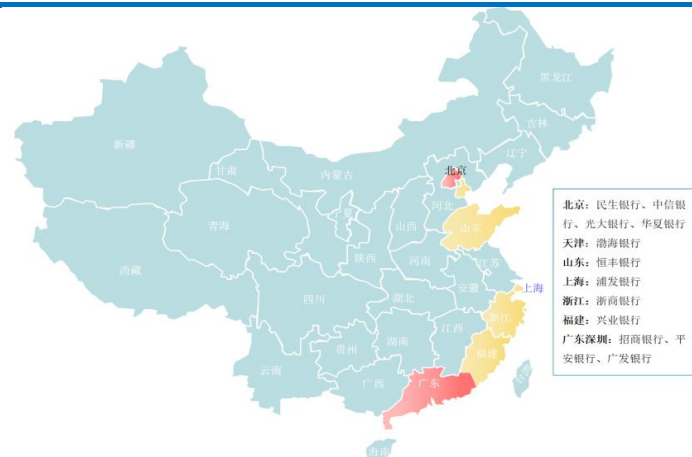


资料来源: Wind

(5) 城乡差异较大, 股份制银行分布具有明显的经济聚集效应

我国的城市和农村地区在经济发展水平、金融服务需求等方面存在较大差异。在城市, 人们更加注重金融服务的品质和创新, 因此股份制银行在城市市场上更具优势; 而在农村, 农村信用社等金融机构在当地更具优势。从总行地区分布来看, 北京是股份制银行分布最多的省市, 共有四家, 其余股份制上市银行主要分布在东部及沿海地区, 其中广东深圳拥有招商银行、广发银行和平安银行三家。此外, 福建、浙江、上海、天津和山东分别拥有一家股份制银行。以上地区基本也是我国经济实力最强的几个区域, 可以见得我国境内股份制上市银行分布具有明显的经济聚集效应。

图 2.4: 中国股份制商业银行区域分布图 (按总行所属地)



资料来源: 自主编制



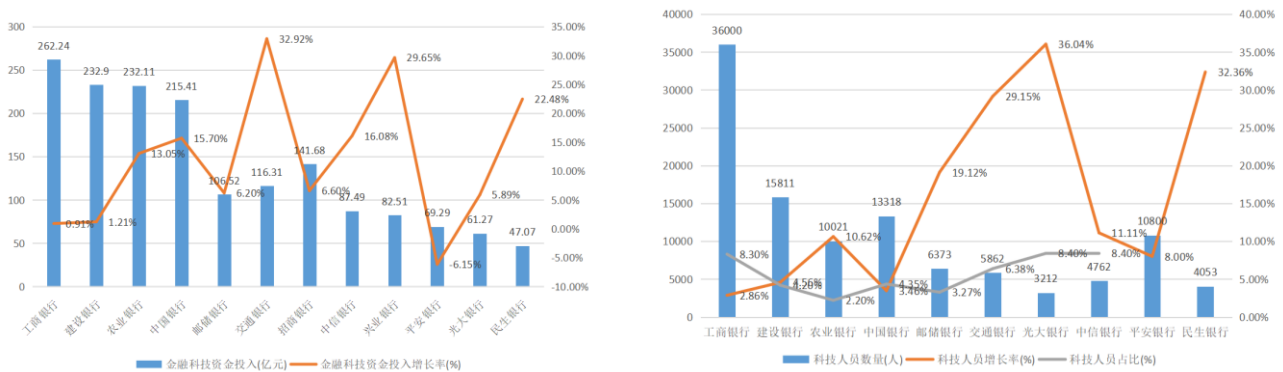
(6) 金融科技资源的投入不断加大，银行数字化转型空间较大

在全球数字化经济的兴起和国内“无接触经济”的发展背景下，银行业正加速数字化转型。金融科技已经成为银行业竞争的核心。市场趋势显示利差收缩和信贷扩张已成为大势所趋，银行数字化转型已成为跳出行业困境的关键。同时，银行业务的重心也逐渐转向普惠小微等领域，这使得银行在经营模式、产品和风险控制等方面更需要金融科技的赋能。因此，加大在金融科技方面的投入已成为银行业的共同选择。

根据各大银行公布的财报统计，国有六大行在金融科技方面的投资金额较高，均超过 100 亿元。多家股份制银行的金融科技投资占比也有所提高，部分银行的金融科技投资同比增长超过 20%。大多数银行的金融科技投资呈现增长态势，其主要方向是运用大数据、人工智能、云计算、区块链、5G、物联网等技术对现有架构进行重构，实现金融基础设施的能力升级。

除了科技投入增长，商业银行也在不断扩容科技人才团队，多家银行金融科技人才占比有所提升，部分银行金融科技员工超过万人。工商银行的金融科技人才达 3.6 万人，中国银行、建设银行、招商银行的金融科技人才超过万人。

图 2.5：2022 年中国上市银行金融科技投入金额情况及金融科技投入人员情况



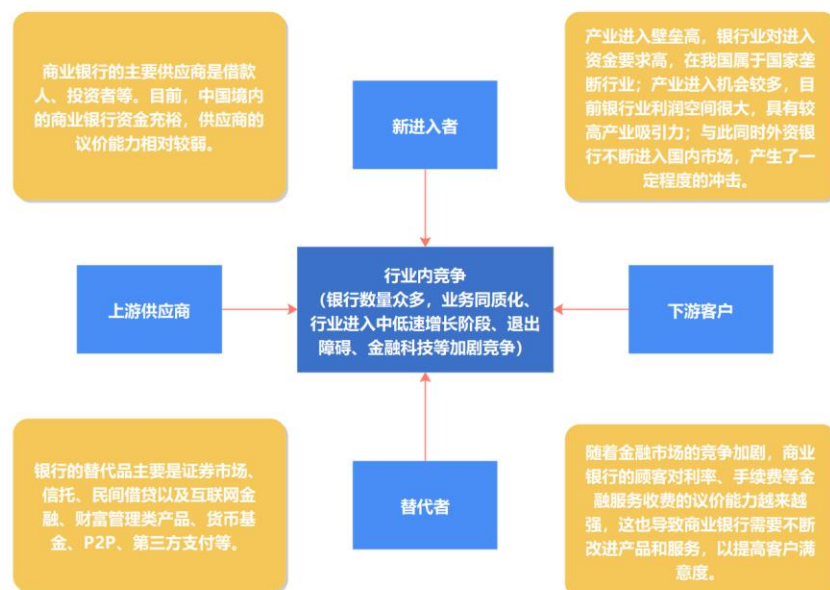
资料来源：银行财报，Wind

总的来说，国有六大行和股份制银行在我国银行业的金融科技发展中处于领先地位。城商行和农商行应该借鉴其在加速产品创新、引进人才、推进生态建设等方面的经验，加快数字化转型的步伐，不断提高数字化水平，增强与数字时代和数字经济的适应性，从而提高竞争能力和服务能力。

2.2 波特五力分析

波特五力模型是由迈克尔波特提出的，它认为每个行业中都存在着决定竞争规模和程度的五种力量，这五种力量综合起来影响着产业的吸引力。这五种力量分别是行业内竞争、潜在进入者威胁、替代品威胁、供应商和下游客户讨价还价力量。本文对我国银行业的波特五力分析如下：

图 2.6：波特五力分析



资料来源：自主编制



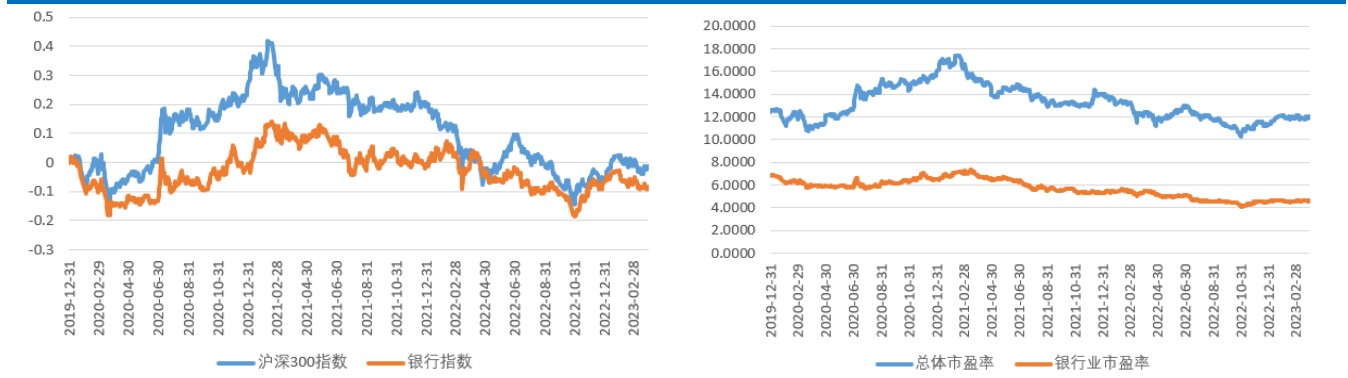
三、行业表现

3.1 银行业行业表现

(1) 市场表现：近三年市场表现较为稳定，市盈率变化较小

2020至2022年，银行业整体市场表现较大盘波动较小，银行业指数收益率在-10%~10%之内波动，没有明显起伏。在市盈率变化上，银行业的整体市盈率从2019年底的6.81下降到2022年底的4.57，这主要是由于疫情冲击加上利差的缩小，影响了市场对于银行业未来的预期。

图 3.1：银行业板块市场表现

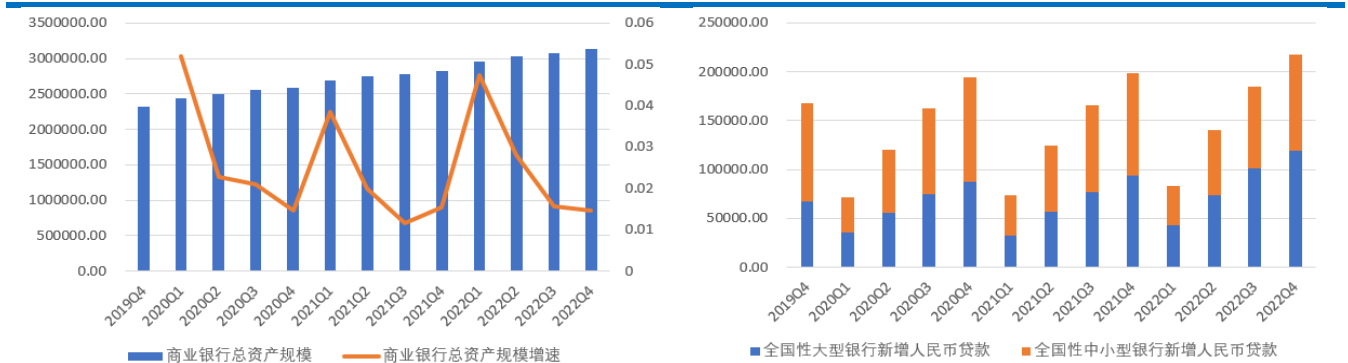


资料来源：Wind

(2) 财务表现：商业银行资产规模及净利润有所上升，但收益率出现下滑

在资产规模方面，商业银行资产规模和贷款额度持续增长。随着疫情带来的影响减少，2022年银行资产规模的增速开始提升，政策的放松也使得新增贷款开始增加，全国大型银行新增贷款总额2022年达到了11.94万亿元，相较于2021年增长了27%，而中小型银行的贷款总额则增长并不明显。而在贷款种类方面，制造业、普惠小微和绿色贷款的增加较快，房地产贷款增速迅速回落。

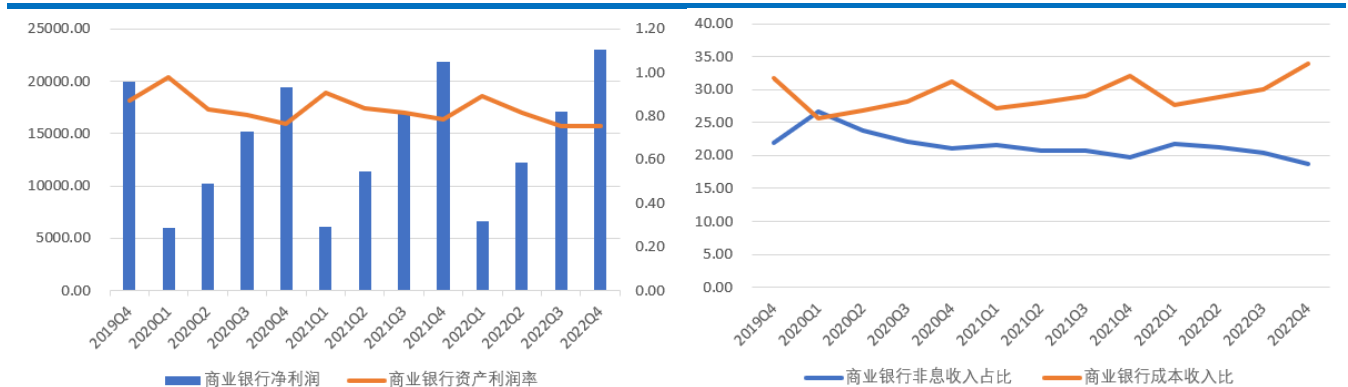
图 3.2：商业银行总资产规模及新增贷款情况



资料来源：Wind

在利润创造方面，近三年银行利润持续增加，但资产利润率以及非利息收入占比都在下降。在总资产持续增加的基础上，商业银行的净利润也得到了一定的增长，但是由于近三年来受到利差缩小的影响，商业银行创造利润的能力则出现了下滑，非息收入的占比减少，而成本收入比有所增加。

图 3.3：商业银行净利润、资产利润率、非息收入占比和成本收入比

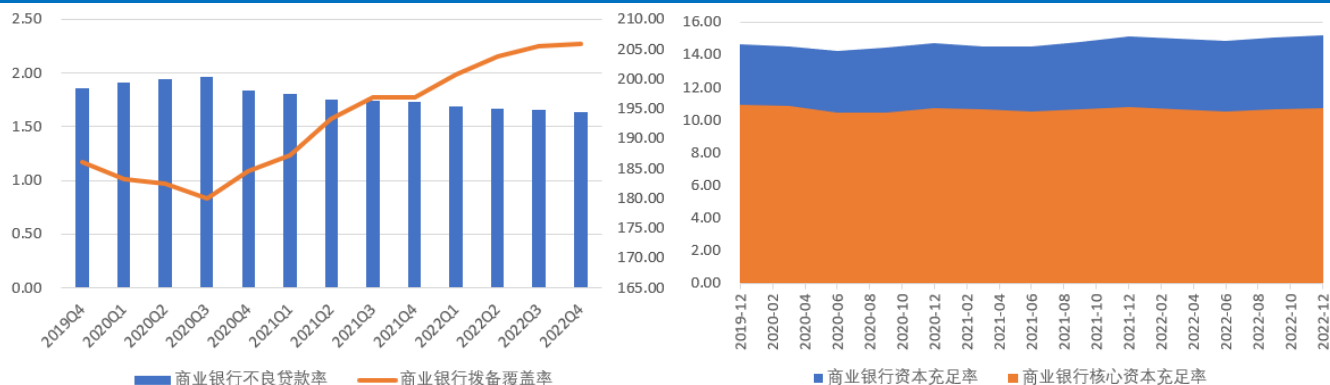


数据来源：Wind



在风险控制方面，各大银行的不良贷款比率持续走低，经营更加稳健。从2020年第三季度开始，我国商业银行整体的不良贷款率和拨备覆盖率的情况有了较为迅速的改善，经营风险持续下降；但是2022年4月国务院常务会议提出鼓励拨备水平较高的银行增加信贷投放后，拨备覆盖率和不良贷款率的变化开始减缓。

图 3.4 商业银行的不良贷款率、拨备覆盖率、资本充足率、核心资本充足率



数据来源：Wind

3.2 银行业数字化转型

银行业数字化转型，指的是银行利用数字技术和信息技术来改变业务模式、提高运营效率、创新产品和服务，从而适应数字化时代的商业模式和用户需求的变化。这个过程包括了银行内部业务的数字化和外部服务的数字化，如数字化客户关系管理、移动银行、网上银行、电子支付、人工智能、大数据、区块链等技术的应用。银行数字化转型旨在实现银行的数字化转型和升级，提高服务水平、降低成本，从而提高竞争力和盈利能力。

(1) 政策端：银行数字化转型已成为我国金融改革的重点内容

近年来，随着我国经济由高速度发展向高质量发展转型，对于普惠金融、绿色金融有了更多的要求，政府对于金融业服务实体经济的定位更加明确，而这一切都需要金融业的数字化转型。而由于中国金融业的核心是商业银行，银行业金融机构总资产占中国金融行业总资产的90%以上，因此中国金融业数字化转型是以银行业的数字化升级为核心推动力，银行业代表着我国金融产业数字化转型的最高水平。中国金融业数字化转型，主要指的就是银行业的数字化转型。

表 3.1：银行数字化转型的相关政策文件

时间	政策文件	主要内容
2019.12.30	《中国银保监会关于推动银行业和保险业高质量发展的指导意见》	要坚持科技赋能，转变银行业的发展方式，实现创新发展，尤其是金融产品创新过程中的科技支撑
2021.12.12	《“十四五”数字经济发展规划》	要在金融领域不断深化数字技术的应用，加强数字基础设施建设，在数字化转型的过程中推进绿色发展，利用数字技术服务实体经济
2022.01.05	《金融科技发展规划（2022-2025年）》	强调银行业要利用金融科技实现“数字驱动、智慧为民、绿色低碳、公平普惠”
2022.01.10	《关于银行业保险业数字化转型的指导意见》	银行业的数字化转型能够帮助银行回归本源，服务实体经济，同时实现创新驱动。鼓励各银行积极制订、实施数字化战略
2022.09.01	《2022年度中国银行业发展报告》	银行业在数字化转型方面正在积极推动金融科技在金融基础设施、财富管理、绿色金融、普惠金融等领域的应用，并取得了很好的成果

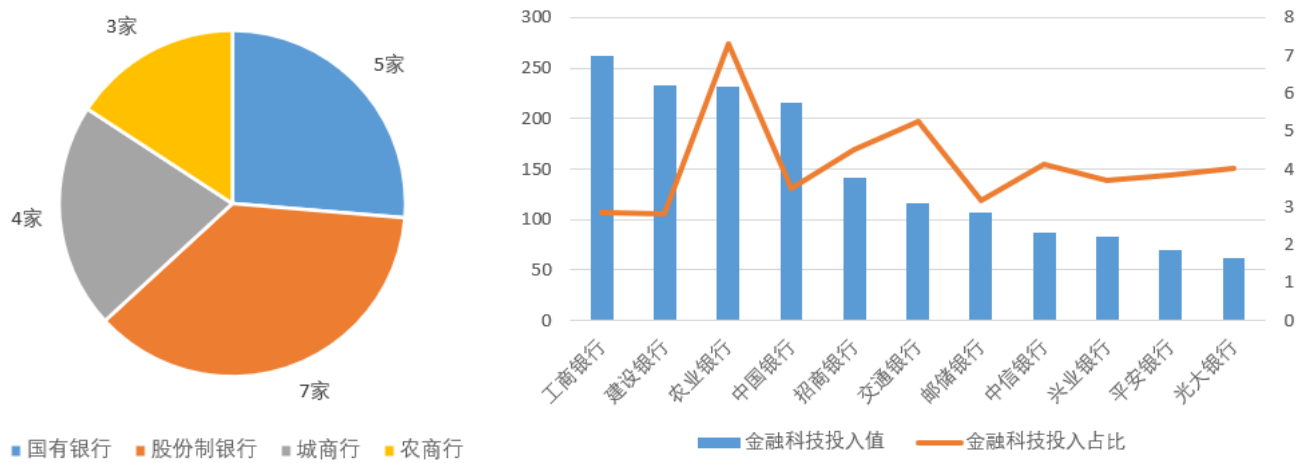
数据来源：中国人民银行，中国银保监会，中国银行业协会

(2) 行业端：数字化转型取得重大突破，但仍存在诸多难点

我国商业银行的数字化转型整体来看比较迅速，但不同类型的银行在数字化转型方面有比较明显的差异。国有银行在数字化转型方面的进展比较迅速，五大国有银行都设立了相应的金融科技子公司，处在数字化转型的第一梯队；股份制银行在数字化转型上的投入也十分巨大，其次是城商行和农商行。在金融科技及数字化投入方面，国有银行的投入普遍高于股份制银行，但不同银行在金融科技及数字化上的投入比例没有太大差异。



图 3.5: 19 家金融科技子公司所属商业银行类型及商业银行金融科技投入



数据来源：公司公告，Wind

各银行针对自身的数字化需求提出了相应的数字化战略。国有银行和股份制银行都在公司公告当中提到了未来有关数字化的战略和愿景，其中国有银行更加重点关注数字化在国计民生方面的应用，如利用数字化技术为小微企业更好地提供服务、加强自身风险管理、实现普惠金融等；股份制商业银行则更加关注利用数字化转型提升自身的竞争力，加强用户体验。从整体上来看，各家银行重点关注的方向重要包括风险管理、客户分析、内部架构三大方面。

表 3.2: 主要上市银行的数字化战略

银行名称	数字化战略
工商银行	实行“科技强行”和“数字工行”战略，将科技纳入核心战略，打造崭新的数字平台、数字渠道、数字运营模式，从而满足不同客户的需求，提供更加便捷高效的服务
建设银行	提出“数字、平台、生态、赋能”的发展理念，在为小微企业提供数字化金融服务、实现普惠金融的方面着眼更多，同时在利用数字化战略实行数字化营销、差异化服务方面也进行了相当的投入
农业银行	提出“推进数字化转型再造一个农业银行”的倡议，结合农业银行自身的使命，提出要利用金融科技帮助农业银行成为在“三农”普惠领域的最佳数字生态银行，助力数字乡村建设
中国银行	提出“以数据为驱动、以用户为中心、以科技为支撑、以安全为底线”的四大方面战略，重视金融业务的质量提升以及服务的个性化、差异化
邮储银行	实施“智慧、平台、体验、生态、数字化”（SPEED）战略，重点关注客户分析、风险监控、普惠金融等多个场景的应用，
交通银行	提出“平台、开放、智能、企业、重塑”（POWER）的愿景。重点提升客户服务、经营管理、数据治理、科技创新、组织保障五大方面的能力
招商银行	在战略上提出“轻型银行”的方向，争取实现轻资产、轻管理、轻经营，并以“一体两翼”为主要方案，以零售业务为“一体”，重点关注 APP 用户的客户体验，同时以公司业务和同业业务为“两翼”，实现业务的协同发展
光大银行	基于“一个智慧大脑、两大技术平台、三项服务能力、N 个数字化名品”的体系，从中台化、敏捷化、智能化三个方面构造科技引擎，同时关注在绿色发展、便民服务、供应链等重点领域的开拓创新
北京银行	在数字化战略中提出建设“211”工程，重点关注利用数字化实现银行业务架构、数据架构、技术架构、运营架构的升级；同时提出要打造以数字化技术为核心的创新产品，发挥自身的区位优势，积极探索数字人民币的应用
华夏银行	提出“智慧金融、数字华夏”的战略愿景，并建设“一流智慧生态银行”，专门成立了数字化转型领导小组，重点方向在于利用数字化提升金融服务的质量、数据治理效率的提升

数据来源：公司公告

目前银行在数字化转型方面的需求有所不同，但是在普惠金融、绿色金融的政策要求下，银行在数字化转型上面临三大主要难点。一是制度构建问题，如何在各个部门实现数字化战略的协同发展目前还在探索当中；二是人才缺口，目前银行金融科技及数字化相关岗位人才紧缺；三是数据治理问题，研究表明，银行坐拥海量数据，但在数据处理上存在难点，大量数据未能使用，同时在数据分析上也面临算力不足等问题。



3.3 量子科技行业表现

(1) 量子科技简介

量子科技基于量子力学，通过对微观粒子系统及其量子态进行观测及精准操控，利用量子纠缠、量子叠加等物理现象，赋能信息产业，包括量子计算、量子通信和量子精密测量三大领域。

图 3.6 量子科技



数据来源：自主编制

量子计算是通过调控量子信息单元来进行高速计算的新型计算模式，包括超导、离子阱、中性原子、半导体量子点、光量子等多种技术路线。目前，我国在超导和光电子两个技术路线均实现了量子计算优越性。我们认为未来随着硬件层面的技术瓶颈突破及算法/软件的丰富，量子计算有望率先用于金融资产等方向提升计算效率，实现营运效率提升。

量子通信是指利用量子纠缠、量子叠加效应进行信息传递的一种新型的通讯方式，具有高效率和绝对安全等特点。量子通信有望在客户数据等机密信息的量子加密传输方面给商业银行带来许多转型发展机遇。

量子精密测量旨在利用量子资源和效应，实现超越经典方法的测量精度，是原子物理、物理光学、电子技术、控制技术等多学科交叉融合的综合技术。

有关量子理论的详细内容，参见“附录 1：量子与量子理论”。

(2) 量子计算行业发展情况

① 量子计算概述

量子计算是一种新型高速计算模式，以量子比特（Qubit）为基本单元，并对量子信息单元进行调控。根据 Intel 联合创始人 Gordon Moore 所提出的摩尔定律，集成电路上可容纳的元器件数目每隔 18-24 个月增加一倍，计算性能也随之提升一倍。但我们看到，近年来由于芯片制程逐步逼近物理极限，计算性能进一步提升面临挑战，摩尔定律逐渐失效。量子计算相对于传统计算机具有多数据位并行计算的显著优越性，可将计算效率提高到传统计算机无法比拟的程度，未来很有可能实现对经典计算的完美替代。

我国量子物理学专家郭光灿院士从量子原理方面做出了解释：

在同样的存储空间上，量子计算机能比传统计算机存储的数据多指数量级。量子比特可以制备在两个逻辑态 0 和 1 的相干叠加态，换句话说讲，它可以同时存储 0 和 1，考虑一个 N 个物理比特的存储器，若它是经典存储器，则它只能存储一个范围在 $0-2^N$ 的数字，若它是量子存储器，则它可以同时存储 2^N 个数，随着 N 的增加，其存储信息的能力将指数上升，例如，一个 250 量子比特的存储器可以存储的数达 2^{250} 个，比现有已知的宇宙中全部的原子数目还要多。

在同样的运算时间内，量子计算机能比传统计算机运行的速度快指数量级。由于数学操作可以同时存储器中全部的数据进行，因此量子计算机可以同时对于 2^N 个输入数进行数学运算，而经典计算机需要重复 2^N 次操作，或者使用 2^N 个处理器进行并行操作，可见量子计算机可节省大量运算时间、运算成本、芯片费用。

有关量子计算原理的详细介绍，参见“附录 3：量子计算原理”。

② 量子计算路线及发展布局

量子计算技术路线繁多，尚无完美解决方案。量子计算存在多种技术路线以制作出最基本的物理实现粒子。根据赛迪顾问人工智能产业研究中心介绍，主流技术路线包括超导、离子阱、半导体量子点、量子光学以及拓扑量子等，研发均集中于制作出纠缠态的最基本粒子。其中，超导和离子阱技术路线当前处于领先地位，受到关注程度最高，半导体量子点和光量子路线发展迅速；以上四种路线均已制作出物理原型机，而拓扑量子尚未实现物理层面的突破。目前，尚无一种路线可完全满足实用化条件要求从而推动技术方案等融合收敛。我们认为，多种硬件技术路线并存的局面仍将持续存在，随着关键技术问题的不断突破，量子计算性能仍存在大幅提高的空间。

有关量子计算路线及，详见“附录 3：量子计算原理”。



③ 量子计算政策支持

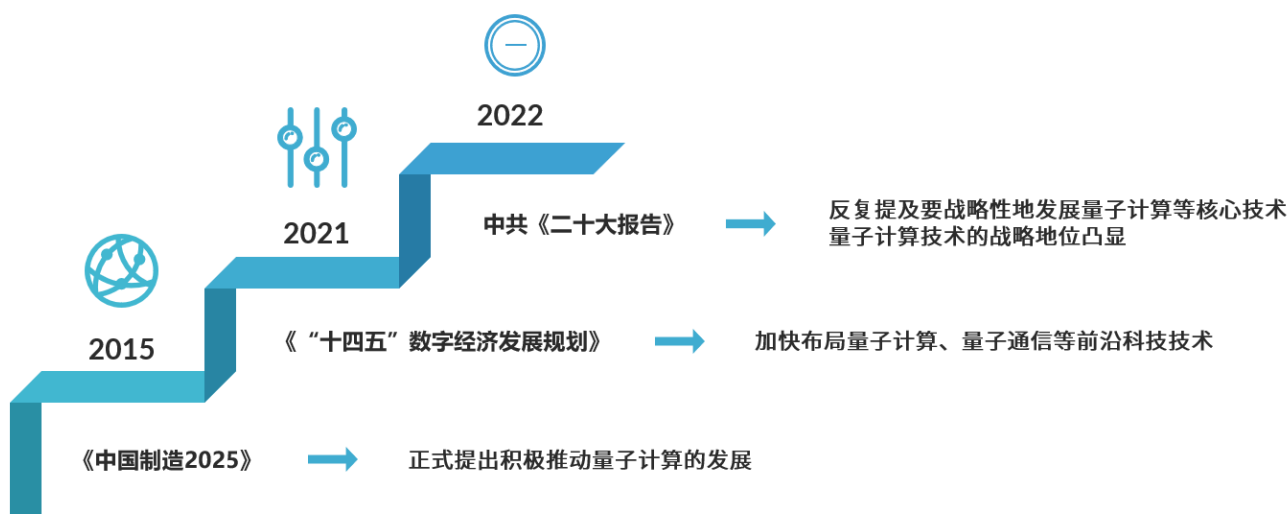
各国大力支持量子计算。量子计算受到各国高度重视，在将量子计算领域的研发作为国家战略的同时，给予大力的政策和资金支持，力争抢占新兴信息技术制高点。美国是较早布局量子计算的国家之一，2002年即发布了《量子信息科学与技术规划》，并于2014年设立了量子信息和计算机科学联合中心（QulCS），2018年通过《国家量子行动法案》，旨在推动美国量子计算相关产业发展，此外，2021年美国与英国、澳大利亚联合发布《关于量子信息科学和技术合作的联合声明》，加强跨国的资金及技术合作。同时，其他国家和地区也发布了量子计算领域的发展规划。

有关量子计算自2014年以来的全球主要政策，详见“附录4：量子计算的政策支持”。

我国积极推动量子计算的发展，支持技术研发及产业化落地。1984年，中国科学院院士郭光灿主持召开了中国第一个量子光学学术会议，并于2001年获得我国首个量子信息技术“973”项目，我国量子科技自此进入加速发展的通道。2015年发布的《中国制造2025》提出积极推动量子计算的发展；2016年，“十三五”规划将量子计算机列为重大科技项目之一；2021年“十四五”规划发布，提及加快布局量子计算、量子通信等前沿科技技术等规划，各地纷纷加强对量子计算的政策支持；在二十大会议上，习近平总书记反复提及要战略性地发展量子计算等核心技术，量子计算技术的战略地位凸显。

有关量子计算自2015年以来的我国主要政策，详见“附录4：量子计算的政策支持”。

图 3.7：我国量子计算主要政策



资料来源：自主编制

(3) 量子通信行业发展情况

量子通信起源于光纤通信，都需要对光子态进行调制（包括调幅、调频、调相），但量子通信在光纤的两端加上了可代替常用光模块功能的、光量子态发送和接收的设备，在光的全反射原理的基础上更进一步，用于实现基于光的单量子态的无条件加密通信。量子通信的典型应用形式包括量子隐形传态（QT）、量子密集编码（QDC）、量子保密通信（QSC），其中量子保密通信协议还可细分为量子密钥分发（QKD）、量子秘密共享（QSS）、量子安全直接通信（QSDC）等。有关量子通信的详细原理，参见“附录2：量子通信类型与原理”。

我国率先部署大规模量子保密通信网络，积极推进国家广域量子保密通信骨干网的建设。2017年，国家发改委已明确提出将重点支持建设国家广域量子保密通信骨干网络建设一期工程。目前北京、武汉、海口等城市均已相继建成城域网并成功投入使用。各城市之间也在规划建设量子保密通信线路，如“齐鲁干线”、“成渝干线”、“京沪干线”等，支撑城市间的安全信息传输需求。

表 3.3：各国和地区量子通信网络建设项目

国家/区域	具体内容
意大利	2013年启动了总长约1700公里的连接弗雷瑞斯（Frejus）和马泰拉（Matera）的量子通信骨干网建设计划，截至2017年已建成连接弗雷瑞斯（Frejus）—都灵（Turin）—佛罗伦萨（Florence）的量子通信骨干线路。
英国	2015年启动总额4亿英镑的“国家量子技术专项”，设立量子通信、传感、成像和计算研发中心，开展学术与应用研究。2022年4月，日本东芝和英国电信BT在伦敦启动了英国首个商用量子安全城域网的试用。



韩国	韩国计划到 2020 年，分 3 阶段建设国家量子保密通信测试网络：第一阶段环首尔地区的量子保密通信网络已于 2016 年 3 月完成，总长约 256 公里。韩国正实施的“数字新政计划”提到了由韩国内务和安全部发起的国家融合网络项目，计划利用 QKD 技术保护长达 2000 公里的公共网络的主要区域，为韩国包括劳动就业部、经济财政部、教育部和地方政府等政府机构的通信网络提供安全保障，目前已完成第一阶段建设。
俄罗斯	2016 年 8 月已经在其鞑靼斯坦共和国境内正式启动了首条多节点量子万联网试点项目。2021 年 6 月，俄罗斯铁路公司宣布开通莫斯科与圣彼得堡之间 700 公里的俄罗斯首条 QKD 干线，成为欧洲最大的量子通信网络。
日本	日本信息通信研究机构 2017 年 11 日宣布首次用超小型卫星成功进行了量子通信实验。2022 年 3 月，日本总务省下辖的情报通信研究机构（NICT）宣布将在东京都内新设立 4—5 个量子加密通信试验网点，由日本政府承担设备费用，搭建基本实用化的广域量子保密网络。
欧盟	欧盟 2018 年初启动总额超过 30 亿英镑的“量子技术旗舰项目”，计划 2035 年左右形成泛欧量子安全互联网。2021 年，欧盟委员会宣布 27 个欧盟成员国全部承诺与欧盟委员会和欧洲航天局（ESA）合作建设 EuroQCI——一个跨越整个欧盟的安全量子通信基础设施，以保障欧盟成员国之间的敏感通信和数据，保护关键基础设施。2022 年，欧盟宣布投资 60 亿欧元建立卫星星座基础设施，并与欧洲量子通信基础设施集成，以借助量子加密技术为成员国的经济、安全等提供安全通信。
德国	德国 2018 年 11 月通过第一个系统推进量子技术研究的框架计划——《量子技术：从基础到市场》，计划投入 6.5 亿欧元，为量子技术的发展打下牢固的学术和经济基础。2022 年，德国图林根州科学部提供了 1100 万欧元，用于在图林根州开发量子通信网络基础设施。
美国	美国 2018 年 12 月通过《国家量子计划法案》，计划未来十年内向量子研究注入 12 亿美元资金，由美国能源部、商务部国家标准与技术研究院和美国国家科学基金会配合联邦政府共同落实量子计划项目。

资料来源：国盾量子招股书，国盾量子 2021 年报，国盾量子公众号

3.4 量子科技在银行业的发展和布局

(1) 量子科技在国外银行业的布局发展

量子科技正为银行业等领域带来巨大的机遇和挑战。麦肯锡和摩根大通等机构的多份报告指出，**金融是最有可能率先通过量子计算获益的行业之一**，包括摩根大通、高盛集团等国际金融巨头均在相关方向上持续发力，研究可实际应用的量子算法。一方面，量子算法将能解决风险价值（VAR）计算和投资组合优化等问题；另一方面，量子技术将对银行的安全加密系统产生革命性的影响。变被动为主动，美国、法国、英国、等世界领先的银行正在积极参与量子金融系统计划的制定和实施。

表 3.4：欧美银行在量子科技的布局与应用

国家	银行	布局与应用
美国	J.P.MORGAN	摩根大通在意识到量子计算（QC）对于银行业的重要价值后，成立了由 Marco Pistoia 博士领导的量子工程团队，并在努力扩大其量子技术的研发规模。
法国	BNP PARIBAS	作为一家国际银行集团，法国巴黎银行已通过风险投资部门 BNP Paribas Développement，在今年 6 月参与了法国量子计算初创公司 C12 Quantum Electronics 的 1000 万美元种子轮融资。
英国	HSBC	汇丰银行将与欧洲 NEASQC（量子计算下的应用）项目合作，该项目为期四年，预算为 470 万欧元（550 万美元），完全由欧盟地平线 2020 研究和创新计划资助，利用量子计算专家的专业知识。
美国	CITIGROUP	花旗银行投资了 1QBit 和 QC Ware 等量子计算软件创业公司，花旗集团的董事总经理 William Hartnett 表示，量子科技将改变金融业的风险评估和交易，并表示“银行现在需要开始学习如何利用它”。
美国	WELLS FARGO	早在 2019 年，富国银行的技术主管 Saul Van Beurden 就与 IBM 和 MIT 签署了一项协议，双方将在量子计算和人工智能领域进行合作，并加入到 IBM 量子网络。



美国

GOLDMAN

该银行一直与硅谷初创公司 QC Ware 合作，研究量子算法在金融领域的应用，探索该技术如何最终在金融应用中胜过经典计算机。

资料来源：The Quantum Insider

(2) 量子科技在国内银行业的布局发展

习近平同志曾在中央政治局第 24 次集体学习时强调，深刻认识推进量子科技发展重大意义，加强量子科技发展战略谋划和系统布局。在此背景下，银行业金融机构纷纷加快与量子科技企业、互联网企业及金融同业携手合作，联合展开量子科技在同城数据备份和加密传输、异地灾备、监管信息系统采集报送、金融市场风险预测、信息安全保护与风险管理等诸多领域的应用研究，积极促进新技术在金融领域的融合探索及规模化应用。作为最有前景的前沿技术之一，量子科技成为必争的前沿领域。

中国人民银行清算总中心的文章显示，央行正在探索量子保密通信技术在支付系统中的应用，以应对计算能力的提高给传统加解密体系带来的威胁，且考虑逐步推广使用量子密钥分发（QKD）技术。央行清算总中心称，支付系统作为重要的国家金融基础设施，是社会资金流动的大动脉。为了进一步保障支付系统的报文传输安全，清算总中心开发并建设了量子密钥分发系统，实现了数据中心间密钥的安全分发。使用量子密钥加密报文，显著提高了支付系统数据中心间报文传输的安全性。同时，由于各业务系统无需再单独开发密钥交换管理模块，也降低了业务系统开发成本。

值得一提的是，在央行的带动作用下，各家金融机构近年来都开始践行“推进量子技术向实用化转化”的使命，加速推动量子安全技术应用。除了 QKD 技术外，2021 年 5 月，中国工商银行开始将量子随机数（QRNG）应用在支付结算、资金交易等重要金融场景；7 月，阿里巴巴在其云服务器上集成了四种不同类型的量子随机数发生器，已用于支付宝。根据量子科技第一股“国盾量子”的披露，中国人民银行、银保监会及 5 大国有大型银行、重点股份制商业银行等均采购试用了国盾量子的量子保密通信产品和服务。

在二十大报告指出要加快发展数字经济，促进数字经济和实体经济深度融合的背景下，量子信息技术在银行数字化转型中的应用将更加普及：量子计算的算力增速远高于银行业大数据规模增速，能够显著提升智能模型的运行效率，智能金融得以在全条线展开；量子通信技术的强大安全性能能够为银行数据的跨域加密传输提供保障。而这些优势都推动着各银行对量子科技进行布局与应用。

表 3.5：我国银行在量子科技的布局与应用

时间	银行	布局与应用
2015	工商银行	工商银行率先成功应用量子通信技术实现了北京分行、上海分行电子档案信息在同城间的加密传输。
	中国人民银行	中国人民银行启动人民币跨境收付信息管理系统（RCPMIS）的量子应用示范项目。
2017	工商银行	随着量子保密通信骨干网络的全线贯通，工商银行再次成功将量子通信技术应用到了其“两地三中心”架构下的京沪异地广域网应用中，实现了网上银行异地数据的量子加密传输，在全球金融业中首次应用千公里级量子通信技术。
	交通银行	交通银行完成企业网银用例建设，将量子保密通信技术应用用于金融企业网银用户的实时交易。
	徽商银行	徽商银行成功应用量子保密通信技术，实现了数字证书信息在徽商银行与中国金融认证中心（CFCA）之间的量子加密传输应用。
	北京农商银行	北京农商银行在北京城域网全面应用量子加密技术，实现总行、数据中心、业务处理中心等地的办公、生产和同城灾备数据的安全传输。
2018	中国银行	中国银行成功应用千公里级量子保密通信技术，实现京沪异地数据量子加密传输。
	建设银行	2020 年 6 月，建信金科率先在金融行业成立量子金融应用实验室，以抢抓量子科技发展机遇，依托建设银行金融场景深耕量子安全、量子通信与量子计算等领域。
2020	兴业银行	2020 年，兴业银行济南分行中心机房与同城灾备机房间建立了量子保密通信网络以实现两个节点间量子密钥分发，同时使用波分复用技术实现了单光纤量子网络与业务网络的共用。
2021	中国人民银行	中国人民银行清算总中心开发并建设了量子密钥分发系统，实现了数据中心间密钥的安全分发。
	工商银行	工商银行基于量子状态不确定原理，在业内首次将量子随机数应用在客户登录、支付结算、资金交易等重要金融场景，并对客户信息进行标识和校验。



建设银行

建设银行下辖科技公司建信金科携手本源量子在建设银行安徽省分行成立量子金融应用实验室。该实验室以建信基金应用场景为依托，联合发布共同研发的业内首批量子金融应用算法，包括“量子期权定价算法”与“量子风险价值(VaR)计量算法”，相关参数明显优于国外同类产品。

资料来源：金融电子化

四、行业展望

4.1 银行在数字化转型方面的展望

在二十大报告的指引下，以服务实体经济为使命的银行业将更加坚定地拥抱科技浪潮，紧跟数字中国建设步伐，强化科技引领，赋能转型发展。银行业在金融体系的智能化转型进程中应继续保持核心金融中介地位，更加有力地应对内外部环境变化。为此，需要做到以下几点：

(1) 科技投入全面提升

中国银行业，尤其是国内大型商业银行的科技投入占比和科技人才规模进一步提升，稳步成为全球银行业的领先者，将技术资源和人力资源聚焦到基础设施开发、大规模数据处理和运营模型升级等方面，推动数字化金融产品研发、渠道矩阵构建以及金融服务全流程线上化。牢牢把握客户在非金融场景中金融需求快速增加的新机遇，更好应对客户对线上金融服务质量要求大幅提高的新挑战。

(2) 显著增强数据治理能力

银行将以客户信息为基础，建设更加完备的数据字典；企业级数据模型和数据标准继续优化，搭建集团层面的高质量数据平台；以此为基础形成更加精准的客户画像，深入挖掘客户金融需求，构建定制化产品界面，丰富创新金融产品供给。数据管理和数据治理作为银行提升数字化经营能力的重要抓手，也将在未来成为促进前沿技术从研发实验室进入业务“工具箱”的有力推动，为新技术落地应用并带来正反馈提供锚点。

关注端到端客户旅程体验，通过中台完成产品和功能的标准化封装，支持前端系统的敏捷迭代与创新。其次，打通底层数据，通过数据驱动与智能处理等方式，实现从业务洞察到经营管理落地的自动化闭环管理。将客户行为数据、交易数据等同步到客户关系管理系统（CRM）以支持客户画像分析，赋能前端精准营销。

(3) 搭建综合场景

近年来，互联网企业的涌入为金融市场创造了大量的消费场景，使金融服务的供给更加趋于场景化。而随着金融科技的发展，商业银行将用互联网思维和方法来改造银行，加强与各类平台的合作，构建开放创新、与全渠道产品和服务高度融合的全量客户、全量产品和全渠道的场景金融生态体系。这包括两个方面：

融入场景。与掌握场景的互联网平台、生活服务类企业开展合作，建立开放的综合类金融账户。商业银行将致力于打造集金融账户和生活场景于一体的综合类账户，为客户提供支付结算和价格信息服务，实现资源供需双方的自动均衡匹配，从而大幅降低成本、简化流程。基于价值链条上的各类应用场景分析合作可能及合作形式，加大在养老、旅游、学校、社区、医院等前景产业方面的投入，深挖高密度、高活力、高价值的应用场景；密切关注新能源、环保、生物科技等朝阳产业发展，把握一切合作机遇。

积极开展多方位合作，协同线上线下，完善生态体系方面。一方面，商业银行将加强外部合作，扩大产业布局。充分利用新技术催化金融与互联网之间的化学反应，打造更加智能、便捷的应用场景。如与头部互联网公司成立联合实验室，开展云计算、大数据、区块链和人工智能等方面的深度合作，实现各自在业务资源和科技水平方面的优势互补。另一方面，商业银行将以大数据为主轴、以个人场景金融和产业场景金融为两翼的生态体系。在个人场景金融方面，商业银行必须协同线上线下，运用数据决策丰富渠道入口，为获取客源提供保障。在此基础上，利用大数据平台打通客户视图的社交数据库，赋予金融工具“社交”属性，打造完整的社交金融生态圈。在产业金融场景方面，商业银行将解决流动性，支付交易和风险控制三大需求，通过全渠道追踪企业客户服务需求的价值链条，充分利用线下网点导流能力，发挥银行资金、信息、风控等优势，依托产业链数据分析结果满足企业需求。

(4) 智能风控体系加速建设

传统审贷模式持续转变，内外部数据有机结合，形成对客户、账户和渠道的综合分析结果；风险控制链条投入使用，集前置风险预测、事中风险监测、事后风险处置于一体；智能风控体系趋于完善，全方位覆盖实时反欺诈、智能反洗钱和全面风险管理等领域。银行在大胆尝试技术创新的同时，更加清醒地面对未来可能在业务合规、数据安全、科技伦理等方面遇到的问题，长期坚持底线思维，时刻警惕隐藏在智能化技术快速发展背后的技术风险、模型风险和数据垄断风险。



4.2 量子科技助力银行数字化转型过程的展望

(1) 量子技术未来价值分析

量子技术的巨大价值潜力已经深入各行各业，根据 BCG 测算，未来 3-5 年内，其价值有望达 50-100 亿美元，而未来 15-30 年有望创造 4,500-8,500 亿美元的市场价值。量子计算系统目前的研究重点是复杂应用，如密码学（400-800 亿美元）、优化（1,000-2,200 亿美元）、机器学习（1,500-2,200 亿美元）和模拟（1,600-3,300 亿美元）。量子计算系统未来将能处理各行各业的计算难题，对社会带来的潜在价值不可估量。

表 4.1: 量子计算各行业创造的潜在价值

行业	应用	创造的潜在价值 (亿美元)
密码学 (400-800 亿美元)	加密/解密	400-800
	航空航天: 飞行路线优化	200-500
优化 (1,000-2,200 亿美元)	金融: 投资组合优化	200-500
	金融: 风险管理	100-200
	物流: 车辆路线、网络优化	500-1000
机器学习 (1,500-2,200 亿美元)	汽车: 自动驾驶、人工智能算法	0-100
	金融: 欺诈和反洗钱	200-300
	高科技: 搜索和广告优化	500-1000
	其他: 各种人工智能应用	800+
模拟 (1,600-3,300 亿美元)	航空航天: 计算流体力学	100-200
	航空航天: 材料开发	100-200
	汽车: 计算流体力学	0-100
	汽车: 材料和结构设计	100-150
	化学: 催化剂和酶设计	200-500
	能源: 太阳能转换	100-300
	金融: 市场模拟 (如衍生品定价)	200-350
	高科技: 电池设计	200-400
	制造: 材料设计	200-300
	制药: 新药发现和开发	400-800

资料来源: BCG

(2) 量子科技在商业银行的应用前景

随着新 ICT 技术的快速发展，商业银行在不断融合新兴技术加快自身数字化、智慧化转型进程的同时一方面面临更加复杂的网络和信息安全问题，另一方面呈爆发增长态势的数据量以及趋于失效的摩尔定律，使得经典计算的算力瓶颈问题逐渐显露。在此背景下，以量子通信和量子计算为代表的量子信息技术的快速发展给商业银行解决上述问题开辟了全新路径。此外，随着我国量子科技在自主创新的道路上不断取得新的突破，更是给未来量子科技在银行异地互联通信、跨行业通信、跨境数据传输以及生物识别、风险监测、市场预测、信用风险评估、量化投资等领域的应用打开了无限想象空间。

量子计算在银行业的应用前景探索

由于量子计算使用了量子特有的物理效应来处理信息，因此目前的超级计算机需要数十亿年才能解决的一些数学问题，量子计算可能在几周、几天甚至几个小时内就能找到答案。在金融领域，一方面，量子计算硬件设备的成熟与完善以及量子人工智能算法的长足进步可加速实现更深层次的人工智能；另一方面，量子计算可释放的巨大算力将为开发新的金融服务和产品、强化风险管理带来无限可能性。因此，作为最前沿的科技技术，量子计算未来可广泛赋能金融行业各细分领域，应用涉及信用评级、资产配置场景优化、资本市场的风险分析、保险业的灾难性风险建模、以及加密安全等众多方面。

对于银行业而言，随着新 ICT 技术的快速发展及其在金融领域的融合渗透，商业银行数字化、智慧化转型以及金融线上化迁移步伐不断加快，与此同时数据量亦呈爆发增长态势，银行需要处理海量复杂和高维的数据，现有经典计算机在数据处理能力、处理速度、能耗和散热等方面的弊端逐渐显现。在此背景下，量子计算的强大并行计算能力为银行数据处理开辟了全新路径，以量子聚类算法、量子分类算法、量子主成分分



析算法等为代表的量子算法在生物识别、风险监测、市场预测、信用风险评估、量化投资等领域具有颠覆性意义。此外，量子计算机的么正变换能够实现可逆计算，产生的能耗亦可以忽略不计。

量子通信在银行业的应用前景探索

在我国金融领域不断加强信息化建设的背景下，其信息系统也正面临着严峻的安全保密考验。而在信息安全的保护层面，量子通信这项技术具有较为明显的优势，属于今后发展中信息传输安全的重要保障技术。有效探索量子通信技术在金融信息领域的工程化应用模式，促进量子通信技术与现有设备的良好融合，构建未来金融体系的量子保密通信网络，完善量子通信技术在金融领域的应用标准，将量子通信技术成功应用于金融领域，能够为未来金融信息系统的保密通信提供有力优势，从而大大提高金融信息系统的安全性。

对于银行业而言，新兴技术的蓬勃发展，以及数字化转型进程的进一步加快，银行等金融机构面临着一系列更加复杂的网络和信息安全问题。而**银行作为一国经济和金融的动脉，其信息安全甚至牵动着整个国家经济的稳健运行，因此，保障银行信息传输安全具有重要现实意义。**目前，基于加密、解密技术的信息安全保密方法通常用在传统信息对抗中，随着密码破译技术的大幅度提升，采用传统手段加密的数据，在金融信息网络信道中被传输时，存在被第三方破译、监听、篡改、伪造等风险，而解决这些问题的一个关键环节是保障数据的安全传输。量子通信技术是一种新型的保密通信技术，其利用量子纠缠效应传递信息，从通信原理角度，可绝对确保金融信息网络中金融信息传输的安全性。与传统保密通信技术相比，量子通信这项技术在保证信息安全上有着较为明显的优势，量子保密通信技术从物理层面保障信息传输绝对安全，在银行的异地互联互通、跨行业通信、跨境数据传输等众多场景中均具有重要使用价值，应用前景广阔。

五、风险提示

5.1 银行在数字化转型过程中面临的风险

(1) 数字化转型带来交叉组合的多类风险。数字化转型风险通常是由多种风险类型相互交织而成，且这些风险之间的边界模糊。在讨论数字化转型风险时，从业者通常会同时提到多种风险。例如，光大银行指出，在数字化转型过程中，科技风险、数据风险、欺诈风险、模型风险、网络安全等多种新型风险都不容忽视。不同风险之间的叠加效应更加明显，对企业商誉和社会造成巨大而深远的影响。

(2) 数字化风险对商业银行的影响面更广，冲击更大。在传统的风险事件中，银行机构通常会面临单笔、单户或单一机构的损失，但在全面数字化的背景下，一旦发生系统故障可能会导致业务大面积停滞，甚至造成银行整体关闭。近年来，在国内银行中，由于系统升级、主机监控软件缺陷、主干专线入户接入设备故障、核心网络设备故障等原因导致全行中断营业数小时的案例屡见不鲜。国际上也出现了相关风险事件，例如，美国金融巨头花旗银行在2019年因为技术问题导致多次网络故障，客户无法使用网上银行和移动银行服务，这些技术故障导致花旗银行支付了大量的赔偿金，不仅影响了客户的信心，也影响了公司的声誉和财务状况。

(3) 核心生产要素可能受制于人，供应链安全风险突出。商业银行进行数字化转型，将依赖于大量的信息技术和数据资源，包括硬件、软件、网络、云计算、人工智能等方面的技术和应用。这些技术和应用的开发、部署和维护需要大量的人力、物力和财力投入，同时也需要依赖供应商提供相关的技术支持和服务，这些资源和服务的可用性、可靠性、稳定性以及安全性都可能受到人为因素和供应链风险的影响。第一，国内商业银行对业务经营发展有重大影响的关键平台、关键组件以及关键信息基础设施较多仍依赖国际供应商，断供隐患明显；第二，大型平台企业和数据服务商逐渐成为合作规则的制定者，商业银行则从以往的制定者转变为接受者，这一点在中小银行群体尤其明显；第三，在技术路径依赖的情况下，外包集中度不断提高，导致银行机构在合作中的话语权逐渐削弱。外部供应商在与银行合作时由于掌握了现代金融业务的核心生产要素，可以重塑银行业务模式并重新制定游戏规则，成为合作关系中不可替代的部分，地位显著提升。

(4) 金融科技伦理风险被数字化转型进程放大。首先是数据隐私和安全问题：数字化转型过程中，商业银行需要处理大量的客户数据和敏感信息，包括个人身份、信用记录、交易记录等。如果这些数据被泄露或遭到黑客攻击，可能会对客户的隐私造成严重影响，进而损害商业银行的信誉和声誉；其次是人工智能和大数据算法的使用：商业银行在数字化转型过程中，广泛应用人工智能和大数据算法来处理客户数据和风险评估，但这些算法可能存在不公平性和歧视性，例如基于客户性别、种族等因素进行评估。这样的做法可能会引发社会不满和道德争议；最后是科技垄断和竞争问题：在数字化转型过程中，一些科技公司可能会通过垄断市场和竞争不公等手段获得不当优势，进而对商业银行产生影响。这可能导致商业银行降低服务质量和技术创新的积极性，影响市场公平竞争。综上，商业银行的金融科技伦理风险被数字化转型进程放大，需要商业银行加强对风险的认识和管理，确保科技应用的公正性和安全性，避免伦理风险对银行业务和声誉造成不良影响。

银行业除了存在数字化转型风险以外，还存在内外部风险，参见“附录5：银行业内外部风险”。



附录 1：量子与量子理论

1. 量子的定义

在物理学中，量子是根据物理量的不可分割特性进行划分的。一个物理量如果存在最小不可分割的基本单位，则称这个物理量是量子化的，并把最小物理量单位称为量子，并称具有最小物理量单位的粒子具有量子化特性。

例如元电荷（最小电荷）所带电荷量 $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ ，该电荷量不可再分，任何带电体所带电荷都是 e 的整数倍，因此元电荷就是一个量子，所带电荷量为元电荷的电子和质子具有量子化特性；再例如电磁辐射的最小离散量——光子携带的能量由 $E = hf$ 给出，其中普朗克常数 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$ ，电磁辐射的每份能量都是一个光子携带能量的整数倍，因此光子能量就是一个量子，光子具有量子化特性。

2. 量子理论（量子特性）

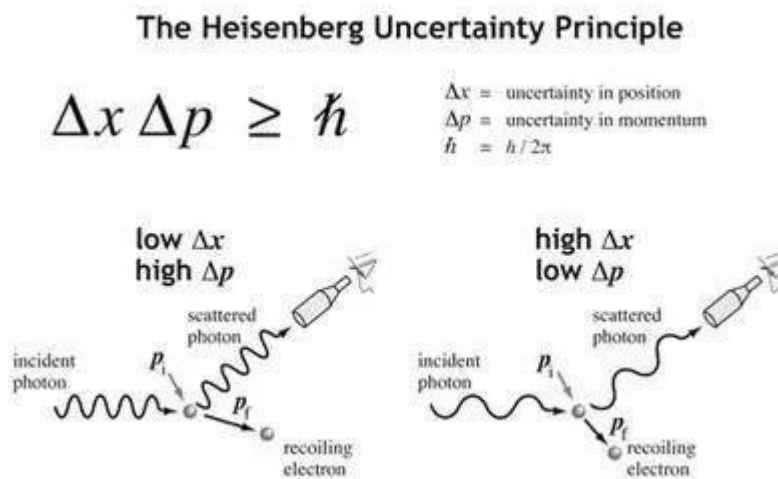
(1) 海森堡测不准原理（Heisenberg Uncertainty Principle）

公式 1: $\Delta x \Delta p \geq h/4\pi$ （位置和动量的不确定性原理）

公式 2: $\Delta E \Delta t \geq h/4\pi$ （能量和时间的不确定性原理）

Δx : 位置变化值; Δp : 动量变化值; ΔE : 能量变化值; Δt 时间变化值; h : 普朗克常数; π : 圆周率

图：海森堡测不准原理



资料来源：公开资料

海森堡指出，要想测量粒子的位置和速度，最好是用光照到一个粒子上的方式来测量，一部分光波被此粒子散射开来，由此指明其位置。但不可能将粒子的位置确定到比光的两个波峰之间的距离更小的程度，所以为了精确测定粒子的位置，必须用短波长的光。但普朗克指出，不能用任意小量的光，至少要用一个光子，而这个光子会扰动粒子，并以一种不能预见的方式改变粒子的速度。

简单来说，就是如果要想测定一个粒子的精确位置的话，那么就需要用波长尽量短的波，这样的话，对这个粒子的扰动也会越大，对它的速度测量也会越不精确；如果想要精确测量一个粒子的速度，那就要用波长较长的波，那就不能精确测定它的位置。因此，观察（测量）行为本身会对粒子产生影响。不存在这样一种观察（测量）手段，在不影响粒子的任何状态的前提下，获得它的所有状态。到目前为止，人类还没有这样的手段。

(2) 量子不可克隆原理（No-Cloning Theorem）

量子不可克隆原理是指量子力学中对任意一个未知的量子态进行完全相同的精确复制是不可实现的。

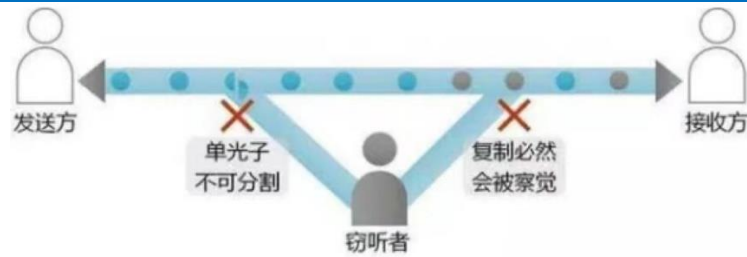
所谓克隆，顾名思义就是把某种事物通过一定的方式再现出来，且保留原先事物不变。所谓量子克隆，实际上是指克隆粒子的状态，即就是先观察粒子，获得粒子的状态，然后复制原先粒子的状态，并保留原先粒子的状态。

根据量子测不准原理，观察粒子的过程，就会干扰粒子原先的状态，不可能出现一种测量方法，不改变粒子原先的所有状态，而获得该粒子的所有状态。测量粒子的某种状态时，获得了粒子的某种状态，然而测量后，粒子原先的状态就会因为观察、测量行为本身而改变，不可能保留原先的状态。因此，量子力学中对任意一个未知的量子态进行完全相同的精确复制是不可实现的，这就是量子不可克隆原理。

量子不可克隆原理在理论上赋予了量子通信绝对的保密性。



图：量子不可克隆原理在量子通信的应用



资料来源：公开资料

(3) 量子态叠加性原理 (Quantum Superposition Theorem)

量子态叠加性是指一个量子系统可以处在不同量子态的叠加态上。首先，自旋是微观粒子极为重要的内在属性，可以作为粒子的标识和分类的依据。每个粒子都有自身特有的自旋形态，且是固定的、可以观察的，并非按照任意方向任意选择。一个粒子，在某一个时刻，只能是上自旋或下自旋 / 左自旋或右自旋 / 前自旋或后自旋。但在其自旋周期内，可能会同时会上自旋和下自旋 / 左自旋和右自旋 / 前自旋和后自旋，但这个切换周期非常非常短，短到感觉这是同一时刻，既上自旋也下自旋，既左自旋也右自旋，既前自旋也右自旋。

以电子为例：如果用1表示左自旋，0表示右自旋，在某一时刻，这电子既处于0状态，也处于1状态，这就是1和0的叠加态。

量子叠加是量子计算的理论基础之一。传统计算机中的比特只能处于0或1的状态，而量子比特可以处于0和1的叠加态，从而将计算效率提高到传统计算机无法比拟的程度。

图：量子叠加实现0和1的叠加态



资料来源：公开资料

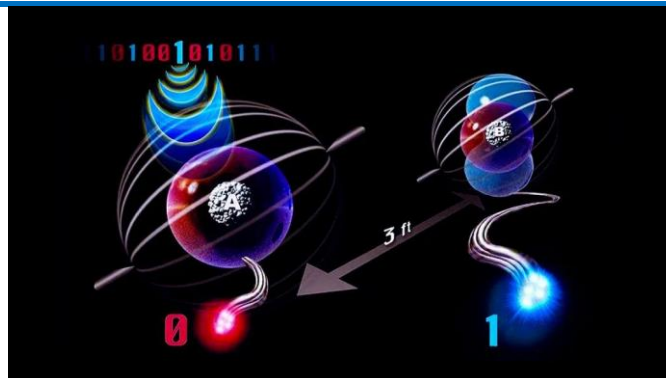
(4) 量子态纠缠性原理 (Quantum Entanglement Theorem)

量子纠缠是量子世界中最诡异的现象，是指两个微观粒子在特定的环境下（温度、磁场）可以处于较稳定的量子纠缠状态，不论他们相距多远，对其中一个粒子的量子态做任何改变（例如量子测量），另一个会瞬间响应并做相应改变，爱因斯坦称之为“鬼魅般的超距作用”。量子纠缠本质上是两个量子形成的叠加态。

比如，通过磁场，干预其中一个粒子，使得其为上自旋，那么与之处于量子纠缠状态的另一个粒子，无论距离多远，其状态就变成下自旋。

量子纠缠现象是量子通信技术的理论基础之一。量子通信主要是利用量子纠缠的特性，开展量子密钥分发 (QKD) 技术，让信息在传递的过程中更加安全。在信息传递的过程中，一旦有人想偷窃信息，纠缠中的粒子的纠缠态立刻会发生坍塌，偷窃行为就会被发现。

图：量子叠加实现0和1的叠加态



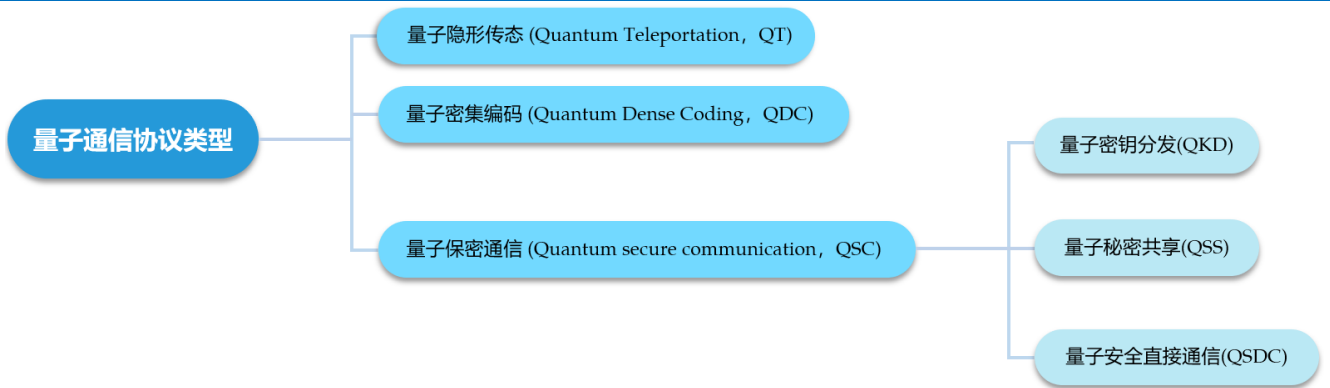
资料来源：公开资料



附录 2：量子通信类型与原理

基于量子态的特殊性质，人们设计了多种量子通信协议，主流的子通信协议一般可分为三类：量子隐形传态 (QT)、量子密集编码 (QDC)、量子保密通信 (QPC)，其中量子保密通信类协议还可细分为量子密钥分发 (QKD)、量子秘密共享 (QSS)、量子安全直接通信 (QSDC) 等协议。

图：量子通信协议类型



资料来源：自主编制

1. 量子隐形传态 (Quantum Teleportation, QT)

由海森堡不可测量原理和量子不可克隆原理可知，观察或测量必然会对量子信息的物理载体产生移动和干扰，因此无法将源（第一个）量子位的某一粒子的未知量子态信息在目的（第二个）量子位的另一粒子上还原出来。而 QT 的目标是在不测量或不观察（基于不移动量子信息的物理载体）的情况下，将源量子位的粒子的未知量子态信息传递给目的量子位的另一粒子，从而实现现实版的“乾坤大挪移”。

QT 的基本思想是在收、发双方之间事先共享相互关联的粒子纠缠对 A 和 B，然后发送方 Alice 对需要传送的未知量子态 X 和手中的 A 在辅助纠缠粒子 C 和 D 的帮助下进行 Bell 基测量而获得经典信息（发送方 Alice 在测量中未提取的其余信息为量子信息），确认两粒子陷入纠缠。测量过程中 X 的量子态发生波函数坍缩，但它的状态信息（量子信息）隐藏在 A 中，使 A 也发生变化，但并非坍缩。由于 A 和 B 相互纠缠，A 的变化立即影响 B，让 B 也发生变化，此时未知量子态 X 的全部量子信息已经转移到第二个粒子 B 上。在接收方 Bob 从经典通道得到 Alice 传来的经典信息（Bell 基测量后 A 发生的变化）后，对 B 进行相应的幺正变换处理，就能使 B 成为和原来的 X 一模一样的量子态。这个传输过程完成之后，虽然 X 坍缩了，但 X 所有的信息都传输到了 B 上，这个过程就被称为量子隐形传态。

在窃听的一方看来，联合测量并不能给出源量子态 X 的全部信息（量子不可克隆原理），因此 QT 在理论上是无条件安全的。此外，QT 并不违背量子不可克隆原理，因为 Bob 进行 Bell 基测量只是使源量子位的粒子的量子态信息在另一个粒子上重新构建出来，而不是通过“超距作用”传送给另一个粒子。

整个实验流程中，难度最大的是联合 Bell 基测量的实现，且学术界一直没有找到合适的方法来度量其品质，无法对其准确性进行定量表征。此外，要真正实现复杂量子物理系统的完整态传输，并把它应用于可扩展的量子信息技术，量子隐形传态需要走向多体、多终端、多自由度、高维度和远距离。真实的物理体系往往包括多个粒子，每个粒子包含多种自由度，而每个自由度又可以有多个维度。因此这是一项极其复杂、艰巨的任务。目前，QT 仍处于研发阶段。

2. 量子密集编码 (Quantum Dense Coding, QDC)

量子密集编码是一种基于量子态纠缠性原理的、兼顾安全通信和高效通信的一类量子通信协议。

其原理是在收、发双方之间事先共享相互关联的光子纠缠对，发送端 Alice 根据所要发送的秘密信息从 4 种独立的、相互正交的最大纠缠态（4 个 Bell 态基）中选择 1 种并对其拥有的纠缠光子 A 进行幺正变换（保留内积的变换），此时接收端 Bob 的光子 B 也会发生改变，然后将变换后的纠缠光子 A 发往接收端，接收端 Bob 对接收到的光子 A 和其本地光子 B 进行联合测量（Bell 基测量，即在四个 Bell 态构成的基上对两个量子比特做测量），根据测量结果即可推断出发送端选择哪种 Bell 态基（秘密信息），使得只传输 1 个光子（1 个量子比特）可以获得 2 比特的经典信息（2 个经典比特），大大拓展了信道容量。

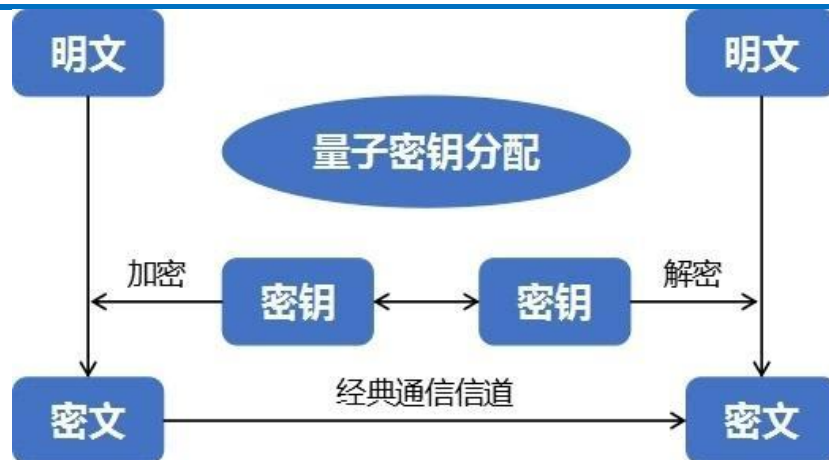
在窃听的一方看来，发送端发出的光子 A 始终是一类不包含信息的最大纠缠态，因此量子密集编码协议在理论上是无条件安全的。



3. 量子密钥分发 (Quantum Key Distribution, QKD)

量子密钥分发 (QKD) 属于量子保密通信 (QPC) 的一种子协议, 也是最为成熟的 QPC 技术。QKD 利用量子物理原理, 实现远程密钥交换/协商并保障密钥交换的安全性。QKD 系统包括量子信道和经过认证的经典信道, 通过量子信道产生一个随机的通信密钥, 发送方利用该随机密钥将信息加密为密文, 通过经典信道进行密文传递, 接收方则利用密钥进行密文解密。

图: QKD 极简流程图



资料来源: 公开资料

经典的保密通信方案主要包括基于密钥分发中心 (KDC) 的对称密钥技术和基于公钥基础设施 (PKI) 的非对称密钥技术。基于 KDF 的对称密钥技术的终端根密钥管理十分复杂且长期不变, **无法保证前向安全性, 一旦根密钥泄露, 历史数据会将全部被黑客破解, 造成巨大危害**; 基于 PKI 的非对称密钥技术尽管无需预置用户特殊的根密钥, 其管理相对简单, 但身份认证和会话密钥协商过程均涉及非对称公钥算法, **无法抵抗量子计算攻击**。

与经典的保密通信方案不同, QKD 技术提出了一种在两个独立方之间共享随机密钥的安全方法, 具有理论的完备证明, 基于海森堡测不准原理、量子不可克隆定理、量子态纠缠性原理等量子特性来保证无条件的安全性, **可以抵抗量子计算和非量子计算破译威胁**。与此同时, QKD 还可通过公共信道来验证通信的安全性 (是否存在窃听): 根据量子的不可克隆特性, **任何窃听者试图拦截量子通信时, 都会对量子态造成破坏, 收发信息双方只要对比量子信道的密钥是否存在差异, 就能断定信息是否被截获**。

目前, 现有技术中已经提供了一些商用的量子密钥分发系统, 这些系统大部分基于 BB84 协议。BB84 协议可以利用偏振的单光子来实现: 发送方 Alice 传输一个光子, 该光子可以是直线基形式的, 也可以是对角线基形式的。在每个基中, 光子的一个方向表示逻辑 0, 另一个方向表示逻辑 1, 这是发送方 Alice 和接收方 Bob 在密钥形成之前就达成的协议。

BB84 协议的具体步骤如下:

① Alice 生成一个 0 和 1 的随机二进制序列。然后她用随机选择的偏振替换二进制序列中的每一位。

② Alice 通过量子信道将对应于二进制序列中每一位替换的光子发送给 Bob, 同时记录发射光子的偏振基和逻辑值。

③ 由于 Bob 并不知道 Alice 选用的光子偏振基, 他在两种偏振基中随机选择一种。如果他选择的偏振基与 Alice 相同, 偏振就会被正确地记录下来。否则, 接收光子的初始偏振丢失, 变为一个随机偏振。有时由于检测或传输中的错误, Bob 也可能什么都没有记录。

④ 一旦 Bob 接收到 Alice 发送的所有光子, 他就会确认已经接收并测量了所有的光子。与 Bob 接收到的光子相对应的位串就称为原始密钥。

⑤ 接下来, Bob 通过公共信道公布他对每个光子选择的偏振基。由于 Bob 只透露偏振基, 并没有透露他接收到的信息, 所以这不会造成任何安全问题。这样窃听者就无法获得与密钥形成有关的任何信息。

⑥ 接着 Alice 和 Bob 对他们各自选择的偏振基进行比较, 丢弃所有不匹配的偏振基。换句话说, Alice 和 Bob 只保留了那些具有相同偏振基的位。由于 Alice 和 Bob 都是随机选择偏振基, 所以匹配和不匹配的概率几乎相等。因此将近 50% 的量子位可以用来生成密钥。请注意, 因为 Alice 和 Bob 都无法决定最终会生成什么样的密钥, 所以密钥是真正随机的。

所有的位发送完毕后, Alice 会通过公共信道告诉 Bob 她用来发送每个光子的偏振基, 但并不会告诉 Bob 基的方向。Bob 也会通过公共频道告诉 Alice 他选用的偏振基。如果 Bob 选用的偏振基与 Alice 的不同, 那么他就会忽略相应的位。他们只保留那些偏振基完全匹配的位, 其余位将会被丢弃。统计意义上, 只有 50% 的传输位是一致的, 这些位被用作密钥。这个较短的密钥被称为筛选密钥。



图：Alice 与 Bob 通过 BB84 协议实现 QKD 的原理简图

Alice 的随机二进制序列	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0
Alice 的偏振基	⊗	⊗	⊕	⊗	⊕	⊗	⊕	⊗	⊕	⊕	⊕	⊗
Alice 的偏振	\	\		\	—	\	—	\	—			/
Bob 的偏振基	⊗	⊕	⊗	⊗	⊗	⊕	⊕	⊗	⊗	⊗	⊕	⊕
Bob 的偏振	\		\	\	/		—	\	/	\		—
	↑				↑		↑	↑				↑
密钥	1				1		0	1				1

资料来源：公开资料

若上述 QKD 原理解起来较为困难，有一个经典比喻：口袋里放了一个黑球和一个白球，Alice 随机拿走一个球 A 留下球 B 给 Bob。现在 Alice 要告诉 Bob 她手里的另一个球 C 是黑色还是白色，于是她看了从口袋里拿的球 A，然后告诉 Bob，AC 球是同色还是异色。

光子作为最普遍应用的信息载体，其**传输损耗**是 QKD 协议实现的主要障碍。目前已有的传统双模测量设备无关协议（MDI-QKD）无法突破传输损耗决定的线性成码上限，传输距离较低，而单模相位匹配协议（PM-QKD）密钥速率高，传输距离长，但需要引入远距离相位锁定技术，实用性较低。**如何在兼顾实用性的前提下有效克服传输损耗从而提高密钥速率、传输距离是当前 QKD 协议理论和实验研究的核心任务。**

4. 量子秘密共享（Quantum Secret Sharing, QSS）

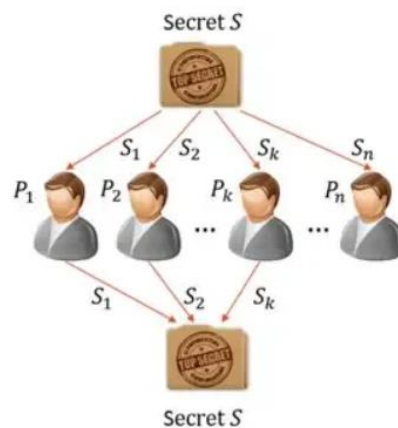
量子秘密共享（QSS）属于量子保密通信（QPC）的一种子协议。

由于海森堡测不准原理和量子不可克隆性原理，当有不明终端尝试窃取密钥时，系统便能自动更新密钥来抵御对方的恶意攻击，可保证传输信息的安全性，有效抵抗量子计算攻击。

传统加密算法通常依赖于从两个大质数生成大数，找到两个素数所需的时间过长，一般适用于经典计算机而非量子计算机。为了确保未来互联网的安全，创建新的加密算法至关重要。于是有了 Shamir 的秘密共享方案（SSS）这样一种 QSS 算法。SSS 的工作原理是将一个秘密分成 n 个秘密份额，用少于 n 个秘密份额就可以重新创建一个秘密份额。SSS 将用于保护公司的机密或加密密钥，这些机密或加密密钥可以用少于 n 个代理访问。这个少于 n 个代理是有用的，因为它不需要每个代理都在线才能重新创建秘密。

除了 SSS 外，还有 Additive Secret Share、SPDZ、基于中国剩余定理的方案等 QSS 协议。

图：SSS 原理



资料来源：公开资料

5. 量子安全直接通信（Quantum Secure Direct Communication, QSDC）

量子安全直接通信（QSDC）是量子加密通信（QPC）的一个重要分支，为符合通信协议的用户之间通过量子传递加密信息提供了直接手段。与量子密钥分发（QKD）不同的是，**量子安全直接通信能够直接将加密后的信息从一个通信终端传输到另一个通信终端，不用完成分发密钥的步骤。**

量子安全直接通信在确保通信过程无条件安全的同时，为信息的直接传输提供了独特的方式。此外，它还为通信和密码学的研究做出了深刻贡献。具体来说，它在嘈杂的通信信道中将通信的可靠性发展到更高的层面。此外，它还把量子通信从窃听探测发展到除了完成窃听探测，还能做到对窃听探测的预防，在有噪音和被窃听风险的情况下仍能提供安全可靠的通信。



附录 3：量子计算原理

量子计算是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，可应用于超导、离子阱、半导体量子点、拓扑量子比特、金刚石空位、中性原子、光量子等多种技术路线。它将 20 世纪物理学中一些最令人惊叹的观点融入一种全新的计算思维方式中，是量子物理与计算机科学的完美融合，未来或将实现对经典计算的完美替代。

1. 量子计算技术路线

表：量子计算技术路线发展概述

技术路线	代表公司和研究机构	技术路线的优劣势
超导量子计算路线	谷歌、IBM、英特尔等国际巨头积极开展超导量子比特实验研究；我国中科大、南方科大、中电科、阿里巴巴、本源量子等开展该线路的研究和布局	<p>优势：利用超低温“冻结”粒子的运动实现粒子状态的控制。由于超导量子电路的能级结构可通过外加电磁信号进行调控，电路的设计定制的可控性强。得益于基于现有的成熟集成电路工艺，超导量子电路具有多数量子物理体系难以比拟的可扩展性</p> <p>劣势：超导路线在逻辑门保真度和相干时间方面存在一定短板，比特间连接的物理布线工艺难度要求将随着比特数增加而加大</p>
离子阱量子计算路线	2020 年 Honeywell 发布了 6 量子比特离子阱计算机，先后实现了 64 和 128 量子比特体积；IonQ 宣布在 32 量子比特离子阱量子计算机上，实现超过 400 万量子比特体积；我国清华大学、中山大学和启科量子等开展离子阱线路的研究和布局	<p>优势：离子阱量子计算路线在物理比特质量和逻辑门保真度等方面具有一定优势，同时具备室温条件工作的优点</p> <p>劣势：在真空工作环境要求，门操作时间指标和激光读写操控复杂度等方面存在短板，单平台实现物理比特数量的大规模扩展也存在瓶颈</p>
半导体量子计算路线	2020 年英特尔与代尔夫特 QuTech 共同发表论文，证明了在高于 1 开氏度下能够成功控制“高温”量子比特；澳大利亚硅量子计算公司（SQC）刷新了有史以来的半导体量子比特的最低噪声水平；我国中科大和本源量子等开展半导体线路的研究和布局	<p>优势：半导体量子计算路线与现代半导体集成电路工艺兼容，在可拓展性和可集成性等方面具备优势</p> <p>劣势：半导体路线物理比特易受环境噪声影响且物理机制复杂，近年来在物理比特数量等指标方面暂无突破性成果</p>
量子光学路线	我国中科大在光量子计算研究方面处于领先地位，2020 年 9 月完成了对 50 个光子的玻色取样，12 月构建了 76 个光子的量子计算原型机“九章”	<p>优势：量子光学路线在相干时间、室温工作、高维纠缠操纵、实现量子信息系统互联等方面具有优势；</p> <p>劣势：基于离散器件平台等光量子计算探索在比特数量大规模方面将面临困难，上海交大在基于光子集成的光量子芯片领域开展了研究</p>
拓扑量子计算路线	微软为该实现路径的主要研发企业，2020 年微软宣布与哥本哈根大学合作成功实现了一种重要的、有希望用于拓扑量子计算机的材料。这种新材料有可能在没有磁场的情况下实现拓扑状态，可用于实现真正的拓扑量子计算机	<p>优势：拓扑量子计算路线无需纠错算法，相干时间长，保真度高</p> <p>劣势：拓扑量子位硬件构建难度大，目前尚无物理层面的实现</p>

资料来源：公开数据整理



2. 量子计算基本原理

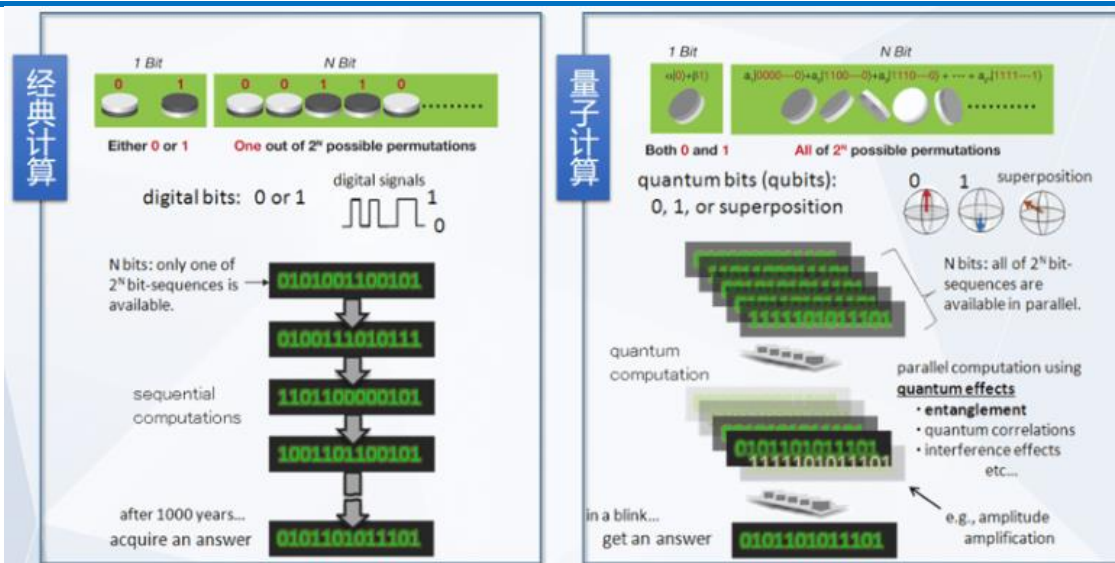
量子计算机和经典计算机的根本区别在于：量子计算机中的程序本质上是概率性质的，而经典计算机通常是确定性的。

所有的计算都包括三个过程：首先输入数据，然后根据一定的规则对输入进行操作，最后输出结果。对于经典计算来说，比特是数据的基本单位。对于量子计算来说，这个基本单位是量子比特（quantum bit），通常缩写为 qubit。

我们假设激发态为 1，基态是 0。众所周知，经典计算机一般采用冯·诺依曼架构来进行存储和计算，经典比特的取值要么是基态 0，要么是激发态 1。如果是 0，我们测量它，得到 0；如果是 1，我们测量它，得到 1。在这两种情况下，比特都保持不变，这样一个经典比特数据位被称为经典位。而量子比特的情况则完全不同：一个量子比特可能是无限多个状态中的某一个——即基态 0 和激发态 1 的任意线性组合形成的叠加态，这样一个双态量子系统被称为一个量子位。但是当我们测量它（量子位）时，和经典情况一样，我们只得到两个值中的一个——0 或 1。

因此，量子计算机信息处理能力的先进性主要归因于：与经典计算机中的数据位（经典位）不同，量子计算机中的数据位（量子位）可以同时以一种以上的状态存在，并且可以同时运算。

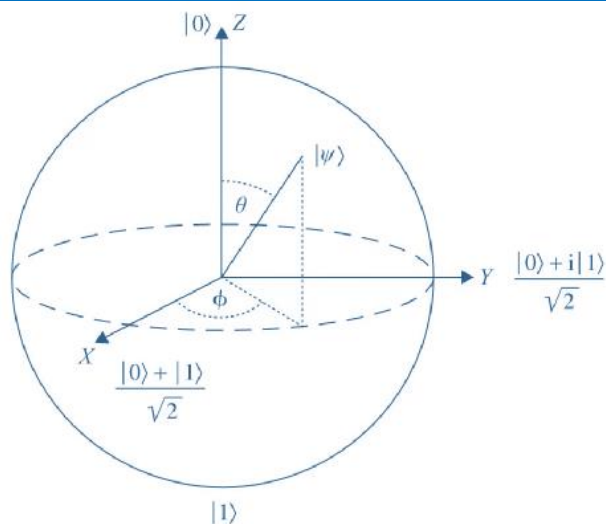
图：量子位与经典位的区别



资料来源：集微公开课-本源量子

量子位的状态空间可以用一个称为布洛赫（Bloch）球的虚球来可视化。它具有单位半径，球体上的箭头表示量子位的状态。选择该球的北极和南极分别代表态 $|1\rangle$ 和 $|0\rangle$ ，其他位置为 $|1\rangle$ 和 $|0\rangle$ 的叠加。**经典位的状态可以是赤道的北极或南极；但量子位可以是球体上的任何一点**，不仅可以位于球面的南极或北极，而且还可以位于这两种状态的混合态。换句话说，量子位可以同时以多种状态存在。这基本上就是叠加原理的本质，叠加原理是由亚原子粒子的波的性质决定的。

图：Bloch 球面（量子位的状态空间的可视化）



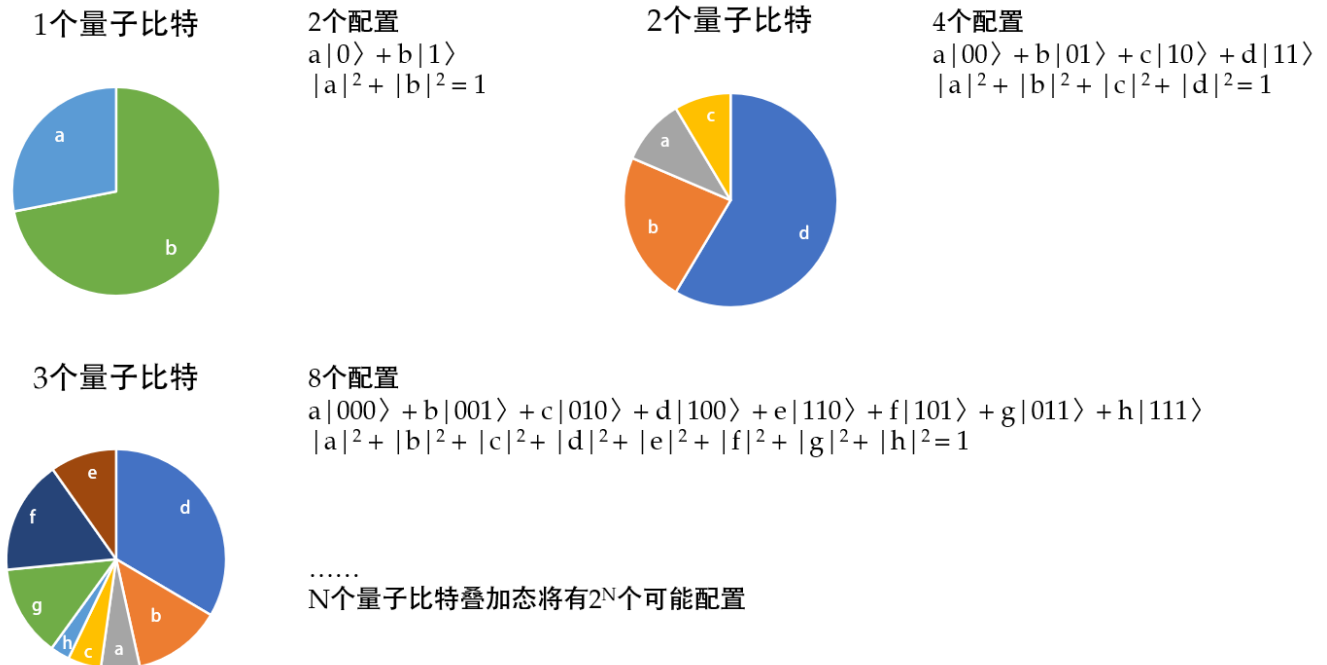
资料来源：公开资料



3. 量子并行计算功能的实现

通过量子位的可视化，我们可以得知量子的并行计算能力。寄存器则是将这种并行计算能力指数级放大：经典寄存器由若干经典位组成，一个3位经典寄存器可以一次存储从0到7的数字；而量子寄存器由若干量子位组成，一个3量子位寄存器可以将所有8个数字存储在一个叠加中，量子位寄存器中的所有值都可以同时访问和运算，从而实现真正的并行计算。

图：多个量子比特叠加态实现并行计算原理



资料来源：自主编制



附录 4：量子计算的政策支持

1. 全球性政策支持

表：全球量子计算发展相关政策

年份	国别	事项
2014	美国	创设量子信息和计算机科学联合中心 (Qulcs)
2014	英国	英国宣布实施5年量子技术计划，投入2.14亿英镑，启动国家量子技术项目 (NQTP)
2015	英国	发布《英国量子技术路线图》，将量子技术上升为影响未来国家创新力和国际竞争力的重要战略
2015	美国	提出 2015—2030 财年量子信息科学研究目标与基础设施建设目标
2016	美国	发布《推进量子信息科学发展：美国的挑战与机遇》
2016	美国	发布《与基础科学，量子信息科学和计算交汇的量子传感器》
2016	欧盟	发布《量子宣言（草案）》，明确了发展重点
2017	英国	发布《量子技术：时代机会》，提出建立一个政府、产业、学界之间的量子技术共同体
2018	美国	编制《美国国家量子信息科学战略概述》，提出了美国量子信息科学发展的四大目标，六大举措
2018	欧盟	启动“量子技术旗舰计划”，各成员国配套总经费超 40 亿欧元，将为从基础研究到工业化，为整个欧洲量子价值链提供资助
2018	德国	通过“量子技术：从基础到市场”国家量子技术框架计划，在 2018—2022 年投入 6.5 亿欧元，疫情后又追加 20 亿欧元
2018	美国	发布《国家量子行动法案》
2020	美国	《量子网络战略构想》，表示将“开辟量子互联网，确保量子信息科学惠及大众”
2020	印度	启动“国家量子技术与应用任务”，计划未来 5 年向量子计算、量子通信和量子密码学等领域提供共计 800 亿卢比的经费支持
2021	美国	调高量子信息科学的相关财年预算，与英国、澳大利亚等共同发布《关于量子信息科学和技术合作的联合声明》
2022	法国	法国宣布启动“国家量子计算平台”，投资总目标为 1.7 亿欧元，将创建经典系统和量子计算机互连的混合计算平台
2022	西班牙	西班牙启动了第一个国家和商业层面的重大量子计算项目 CUCO，该项目由西班牙国家工业技术开发署 (CDTI) 资助，并由科学和创新部根据复苏和转型计划提供支持
2022	以色列	以色列创新局与国防部宣布投资 6200 万美元，用于建造该国第一台量子计算机，这有望成倍地提高计算机的处理速度，建立以色列在量子技术领域的独立性
2022	以色列	以色列计划投资 2900 万美元建设其首个量子计算中心
2022	美国	3月底，纽约大学获得美国国防部多学科大学研究计划 750 万美元研究奖金，用于改进量子计算的方法以提高半导体和超导体的性能；4月6日，美国参议院多数党领袖 Charles Schumer 争取了 2500 万美元的资金以支持芯片代工厂 GlobalFoundries 和量子计算公司 PsiQuantum 开发下一代光量子计算机；4月15日，美国国会议员 Elise Stefanik 宣布为纽约州罗马空军研究实验室拨款 2500 万美元，用于制造和测试光量子计算技术

资料来源：美国国家标准与技术研究院 (NIST)，美国陆军研究实验室 (ARL)，美国国家科学与技术委员会 (NSTC)，美国能源 (DOE)，英国 NQTP 官网，欧盟委员会，英国政府科学办公室



2. 全国性政策支持

表：中国量子计算发展相关政策

时间	政策	内容
2015	《中国制造 2025》	掌握新型计算、高速互联、先进存储、体系化安全保障等核心技术，全面突破第五代移动通信（5G）技术、核心路由交换技术、超高速大容量智能光传输技术、“未来网络”核心技术和体系架构，积极推动量子计算等发展。
2016	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》	将量子通信与量子计算机列为重大科技项目
2016	国家创新驱动发展战略	将量子信息技术列入发展引领产业变革的技术
2017	“十三五”国家基础研究专项规划	将量子计算机列为“十三五”器件“事美我国未来发展的重大科技战略任务”的首位
2018	《国务院关于全面加强基础科学研究的若干意见》	拓展实施国家重大科技项目，加快实施量子通信与量子计算机、脑科学与类脑研究等“科技创新 2030—重大项目”，推动对其他重大基础前沿和战略必争领域的部署。
2020	中共中央政治局第二十四次集体学习	习近平总书记做出把量子科技大趋势，下好先手棋系列重要指示，为加快促进我国量子信息技术领域发展提供了战略指引和根本遵循
2021	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年（2021—2025 年）规划和 2035 年远景目标纲要》	加快布局量子计算、量子通信、神经芯片、DNA 存储等前沿技术。聚焦量子信息、光子与微纳电子、网络通信、人工智能、生物医药、现代能源系统等重大创新领域组建一批国家实验室，重组国家重点实验室，形成结构合理、运行高效的实验室体系
2021	《“十四五”国家信息化规划》	加强量子信息、集成电路等前沿领域的战略布局和技术创新；围绕量子信息、人工智能等领域加强高价值专利培育；加强量子技术、物联网等领域知识产权保护；到 2023 年，要求在相关数字技术研发领域取得明显进展
2022	《“十四五”数字经济发展规划》	瞄准传感器、量子信息、网络通信、集成电路等战略性前瞻性领域，发挥我国社会主义制度优势、新型举国体制优势、超大规模市场优势，提高数字技术基础研发能力
2022	二十大报告	“一些关键核心技术实现突破，战略性新兴产业发展壮大，载人航天、探月探火、深海深地探测、超级计算机、卫星导航、量子信息、核电技术、大飞机制造、生物医药等取得重大成果，进入创新型国家行列”
2022	《量子安全技术白皮书（2022 年 1 月修订版）》	基于《2020 量子安全技术白皮书》进行更新，对量子计算、量子密码等量子安全技术的应用、发展进行分析
2022	《“十四五”信息通信行业发展规划》	加大 6G、量子通信等网络技术研发支持力度，前瞻布局 6G、量子通信等新技术安全
2022	《国家标准化发展纲要》	提出加强关键技术领域标准研究，尤其是在人工智能、量子信息、生物技术等领域

资料来源：国务院，科学技术部，工信部



附录 5：银行业内外部风险

1. 外部风险

地缘政治风险方面，中美关系持续紧张，中国与欧盟、日韩、澳大利亚等国际关系均具有不确定性。俄乌冲突导致大宗商品价格上涨、价格压力不断扩大，地缘政治不确定性攀升，商业银行需持续关注其在资产负债配置、流动性风险、信用风险和市场风险的管理以及全球化战略部署等方面的影响在上升。**ESG 风险方面**，国内外监管对气候与环境变化的影响重视程度持续增强，我国在“碳达峰与碳中和”目标下推进绿色金融转型，由于对气候与环境变化带来的影响的理解不断发展，金融机构进行投资决策、信贷管理、风险评估与管理、信息披露时需全面考虑相关因素，并考虑将其纳入风险管理框架。**巴塞尔协议 III 改革**，随着巴塞尔协议 III 改革的推进，国内商业银行需充分关注其对信用风险、市场风险、操作风险等风险计量的影响，对风险管理工具体系进行整体重检和优化，进一步强化风险管理与资本管理。

2. 内部风险

技术风险方面，人民银行发布一系列金融行业标准和金融信息保护规范，加强金融信息全生命周期管理，强化事前、事中和事后技术风险管理，金融机构须按照要求不断优化提升信息技术支撑和应用能力；银保监会进一步强化监管统计报送要求，多家银行因数据报送问题受到监管处罚，需持续关注数据治理以及监管数据报送的合规性。**流动性风险方面**，中国银行业流动性风险长期化、结构化趋势日益明显，在整体趋于稳定的基础上，中小银行和非银金融机构流动性风险上升。**金融欺诈方面**，随着商业银行产品与服务网络化和场景化趋势的增强，欺诈风险成为商业银行操作风险管理的重点与难点之一。商业银行需要建立“以客户为中心”的反欺诈管理机制，整合内部反欺诈管理能力，提高事前预警与事中控制的有效性，持续强化反欺诈运营机制建设。