

# 量子技术：后摩尔定律时代的根基

## 事件

- 在十三五规划关于体现国家战略意图的重大科技项目中，量子通信的排序仅次于航空发动机，先于市场高度关注的智能制造和机器人、重点新材料等。
- 谷歌、中国科大等近期在量子技术正取得一系列重大突破。

## 核心观点

- 量子技术将用于通信、计算和存储：**量子力学是微观世界的理论根基，量子技术将在 7nm 以下的后摩尔定律时代的计算、通信、存储等领域发挥巨大作用。在三大应用中，**量子通信产业化最为成熟，中国在量子通信的研究和产业化都走在世界前列**，量子通信有望成为未来几年投资的一大热点。
- 量子通信技术成熟，绝对安全：**有望在 5-10 年后成熟的量子计算机一旦应用，现有的信息安全体系将完全崩溃！当前的**量子通信技术并没有采用市场误解的难以产业化的纠缠态量子原理来实现**，而是采用量子密钥+现有网络的易于推广方式。量子通信在中短期不会取代现有的通信技术，而是与现有技术融合。
- 中国量子通信产业空间巨大：**1) 中国在城域网、城际网、行业专网和广域网四大领域协同发展。其中，城域网和行业专网已经建成数个项目，并处于运营阶段，城际网和广域网都将在明年迎来标志性进展。城际网和广域网的发展又将给城域网和行业专网带来更大应用价值，促进其发展。2) 在量子通信产业链的四个主要环节中：**中国在核心零组件领域部分依赖进口。与信息安全的自主可控还有差距，给零组件公司带来国产化契机。**3) 按照现有网络的 10-100k 带宽计算，十三五期间中国的量子通信网络在**网络建设与系统集成环节的市场空间可超过 650 亿元**，按照网络建设与系统集成环节 30% 的附加值计算，量子设备与解决方案提供商有**450 亿元市场空间**，核心模块和零部件供应商则有望获得上百亿元市场空间。量子通信一旦获得广泛应用，100k 的带宽将远远满足不了需求，**持续带宽扩容将带来行业的持续发展。**

## 投资建议与投资标的

- 明年，北京和上海城域网、沪杭和京沪骨干网、量子科学实验卫星发射、运用量子通信的阿里云存储等都将带来量子通信板块投资的催化剂。
- 量子设备与解决方案提供商科大国盾和问天量子走在世界产业化的前列，一旦上市将是最好的投资标的。
- 上市公司中，暂时缺乏显著受益于量子通信的公司，但我们认为，量子通信产业的日益成熟将吸引更多上市公司进入该领域。相比而言，我们当前看好两条投资主线：1) 与科大国盾或问天量子具有股权关系或在业务层面进行合作的公司，建议关注：神州信息(000555，未评级)、浙江东方(600120，未评级)等。2) 在量子通信核心零组件具有技术积累的公司，建议关注：华工科技(000988，未评级)等。

## 行业评级

**看好** 中性 看淡 (维持)

国家/地区

中国/A 股

行业

电子

报告发布日期

2015 年 12 月 13 日

## 行业表现



资料来源：WIND

# 目 录

1、	量子技术：逐步成熟，国家战略 .....	4
2、	量子通信技术成熟，绝对安全 .....	4
3、	量子通信迎来产业化大发展 .....	6
3.1	网络建设快速推进 .....	6
3.2	核心零组件环节相对落后 .....	8
3.3	量子通信市场空间巨大 .....	10
4、	量子通信相关标的 .....	11
5、	风险提示 .....	12
6、	附录 .....	12
6.1	附录 1：量子通信的技术细节 .....	12
6.2	量子设备产品与零部件图片 .....	14

## 图表目录

图 1: 量子技术应用与通信、计算、存储、测量与导航等领域 .....	4
图 2: 量子通信密钥机制优于传统通信 .....	5
图 3: 量子通信的两种实现方式 .....	5
图 4: 当前量子通信采用量子信道和经典信道 .....	6
图 5: 四大领域相互促进 .....	7
图 6: 四大领域逐步推进 .....	7
图 7: 合肥建成世界首个光量子电话网络 .....	7
图 8: 北京到天津 125 公里量子通信干线 .....	7
图 9: 金融信息量子通信验证网 .....	8
图 10: 中国在核心零组件环节相对落后 .....	8
图 11: 中国设备和解决方案公司竞争力强 .....	9
图 12: 量子通信的核心设备 .....	9
图 13: 量子通信核心设备的核心零部件 .....	10
图 14: 十三五期间量子通信网络市场空间超过 650 亿元 .....	10
图 15: 明年有望建设完成的两条骨干线 .....	11
图 16: 传统的窃听手段 .....	12
图 17: 量子通信的物理学原理保障 .....	13
图 18: 测量塌缩理论及不确定原理 .....	13
图 19: 存在窃听者会导致误码率增加 .....	14
图 20: 量子通信网络集控站 .....	14
图 21: 量子网关 .....	14
图 22: 量子交换机 .....	15
图 23: 量子保密通信系统 .....	15
图 24: GHz 窄脉冲光源 .....	15
图 25: 近红外单光子探测器 SPD4 .....	15
图 26: 真随机数发生器 .....	15
图 27: 雪崩二极管 .....	15
图 28: 半导体制冷器 .....	16
图 29: 光交换机 .....	16
图 30: 光纤干涉仪 .....	16
图 31: 光相位调制器 .....	16

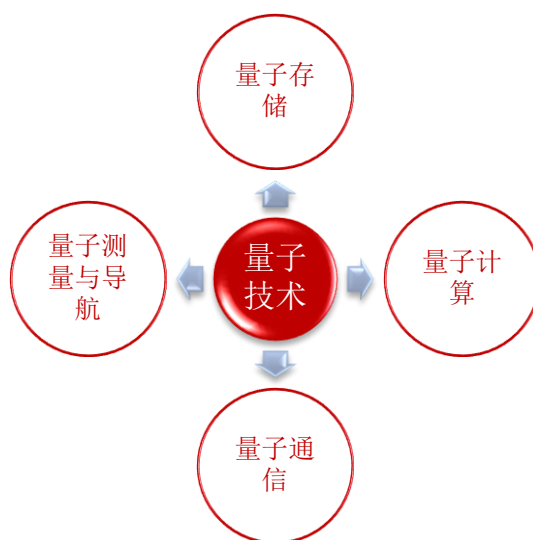
## 1、量子技术：逐步成熟，国家战略

在十三五规划关于体现国家战略意图的重大科技项目中，量子通信的排序仅次于航空发动机，优先于智能制造和机器人、深空深海探测、重点新材料、脑科学、健康保障。

量子力学是微观世界的理论根基，量子技术将在 7nm 以下的后摩尔定律时代的计算、通信、存储、测量与导航等领域发挥巨大作用。量子技术在近期正取得一系列重大突破：

谷歌日前宣布采用 D-Wave 量子计算机取得比传统计算机一亿倍的运算速度，并且能够极大地推动人工智能的进步。此前，D-Wave 的量子计算机已运用于洛克希德马丁公司、美国航空航天等领域。俄罗斯媒体报道，中国科技大学利用金刚石制造出量子计算机，可以在不到一秒时间内破解普通计算机需要几年甚至十年才能破解的密码。IBM、微软、NASA、DARPA 等纷纷在量子技术的产业化投入巨大精力。

图 1：量子技术应用与通信、计算、存储、测量与导航等领域



数据来源：东方证券研究所

在三大应用中，量子通信产业化最为成熟，中国在量子通信的研究和产业化都走在世界前列，量子通信有望成为未来几年投资的一大热点。

## 2、量子通信技术成熟，绝对安全

通信的安全性通过把信息加密后传输来保障，当前主流的加密技术采用代数理论，以软件算法方式来实现，密钥常常基于软件算法的伪随机数，破解较为容易，密钥在传输过程中也可能被盗取，黑客往往能够凭借强大的计算能力攻破传统信息安全体系。有望在 5-10 年后成熟的量子计算机更是

擅长破解基于代数理论的密钥体系，一旦应用，现有的信息安全体系将完全崩溃！

图 2：量子通信密钥机制优于传统通信

	传统通信	量子通信
密钥生成	基于软件算法的伪随机数	基于硬件量子随机性的真随机数
密钥传输	可能被盗取	基于量子物理属性而不可被盗取（复制或探测）

数据来源：信息安全导论、东方证券研究所

量子通信利用量子的粒子特性进行信息传输，具体有两种实现方式：第一种方式采用“量子信道+辅助经典信道”方式实现量子密钥分发和量子保密通信。在经典信道的协作下，通信双方通过量子信道达成量子信息的交互和同步，获得量子通信密钥，利用量子的不确定、无法克隆和测量塌缩原理保障密钥传输的绝对安全性，并利用量子密钥对通信信息进行加密，可在经典信道实现信息的安全传送。第二种方式利用量子纠缠和无障碍通信能力，通过纠缠态量子之间的相互作用传递信息。当前的量子通信技术并没有采用市场误解的第二种纠缠态量子原理来实现，而是采用第一种方式。第一种量子密钥技术已经成熟，已经走上产业化的道路。第二种的量子纠缠通信技术目前还处于实验室阶段，由于纠缠态量子难以获得而暂时无法实现产业化。

图 3：量子通信的两种实现方式

	当前技术	未来技术
基础原理	无法克隆和测量塌缩原理	纠缠态量子
介质	光纤为主	无需介质
产业化进展	开始推进	纠缠态量子难以大量获得

数据来源：中国科大、东方证券研究所

当前最容易获得的量子是光子，光电技术和光通信技术也较为成熟，以光子为载体的量子通信是当前产业化的首选方案。首先，比较容易产生弱相干光（单光子最为理想）和光子纠缠对；其次，光子与环境间的相互作用相对微小且易于控制；另外，经典光通信基础设施成熟，易于借鉴和整合，降低推广难度。量子通信在中短期不会取代现有的通信技术，而是与现有技术物理层、网络层、应用层三方面进行融合。

图 4：当前量子通信采用量子信道和经典信道



数据来源：中国科大、东方证券研究所

在现有实现方式下，实际内容经过加密后仍然通过传统的光纤网络传输，仍然能够被获取，但由于缺乏密钥而无法解密。量子通信的密钥则是由量子随机数发生器产生，由光量子表达并传输，光量子具有测不准、不可复制等物理属性，因而无法被第三方盗取，从而保证了密钥的安全，量子随机原理产生的密钥更是让传统计算机难以破解。量子通信的安全得到保障。

在对信息安全要求不高的情况下，单个密钥可以对应数兆大小的文件包，从而降低对量子信道的带宽要求，随着安全要求的提高，单个密钥对应的实际内容文件包逐步减小，对量子信道的带宽要求提高。

### 3、量子通信迎来产业化大发展

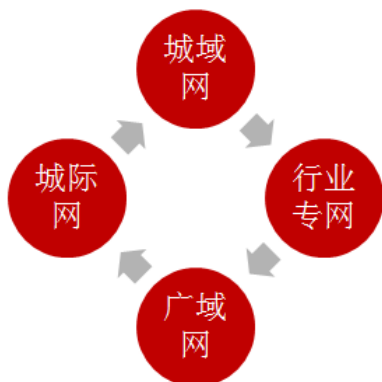
#### 3.1 网络建设快速推进

中国的量子通信技术研发起步早，积淀深，在世界上具备领先地位，近些年已经开始逐步开始产业化建设和运营。

中国的量子通信在城域网、城际网、行业专网和广域网四大领域协同发展，相互促进。其中，城域网和行业专网已经建成数个项目，并处于运营阶段，城际网和广域网都将在 2016 年迎来标志性进展。城际网和广域网的发展又将给城域网和行业专网带来更大应用价值，促进其发展。

中国已建成合肥、芜湖和济南城域网，正在建设北京和上海城域网，沪杭、京沪等骨干网即将开始建设，计划在 2016 年发射量子科学实验卫星，将实现高速星地量子通信并连接地面的城域量子通信网络。

图 5：四大领域相互促进



数据来源：东方证券研究所

图 6：四大领域逐步推进

类型	应用范例	实现技术
城域网	合肥、芜湖、济南	光纤互联
城际网	沪杭、京沪干线	光纤+中继
广域网	2016 年量子卫星	自由空间+卫星中继
行业专网	金融信息量子通信验证网	光纤互联

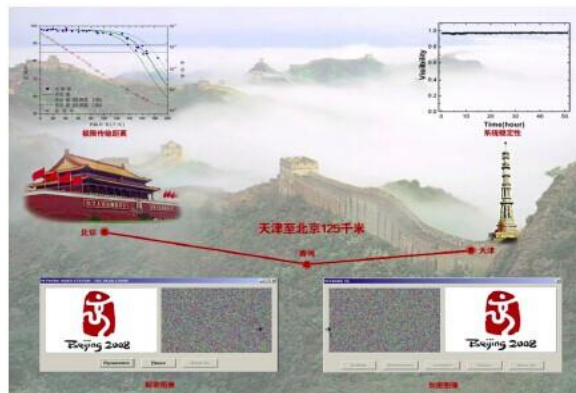
数据来源：新华网、人民网、东方证券研究所

图 7：合肥建成世界首个光量子电话网络



数据来源：天拓咨询、东方证券研究所

图 8：北京到天津 125 公里量子通信干线

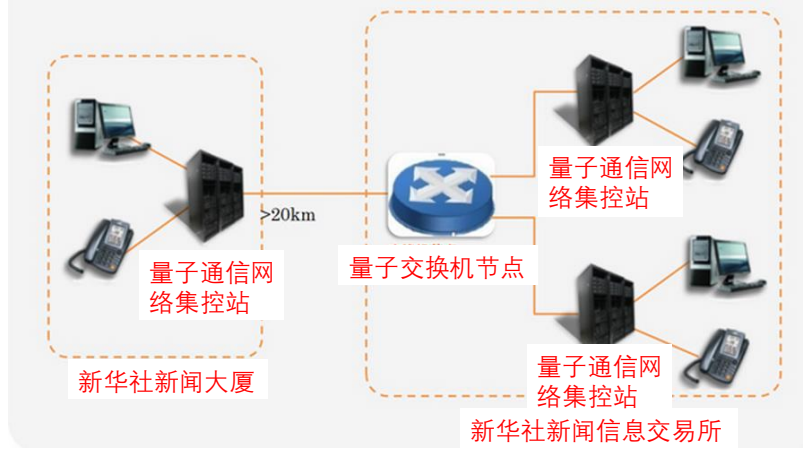


数据来源：天拓咨询、东方证券研究所

2011 年建成的中国金融信息量子通信验证网，是世界上首个用于金融信息安全传输的量子通信，属于量子通信技术在金融信息系统中的首次技术验证和应用，真正确保金融核心数据传输的无条件安全。线路最长距离超过 20 公里，量子密钥成码率达到了每秒 10K 比特以上。



图 9：金融信息量子通信验证网

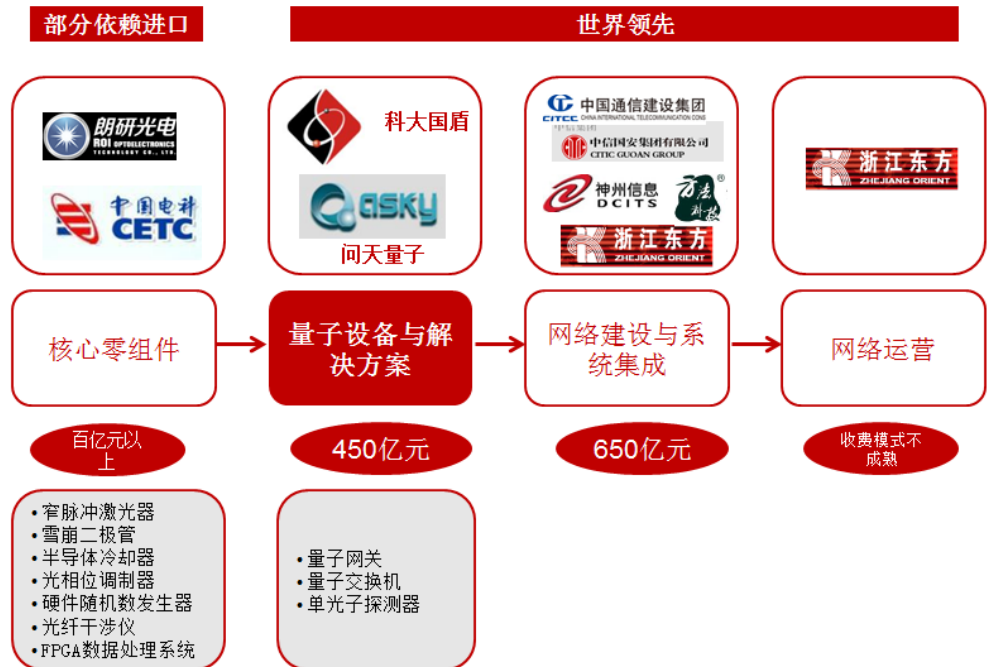


数据来源：东方证券研究所

### 3.2 核心零组件环节相对落后

量子通信的产业链主要包括四个环节：核心零组件、量子设备与解决方案、网络建设与系统集成和网络运营。

图 10：中国在核心零组件环节相对落后





数据来源：东方证券研究所

**量子设备与解决方案提供环节：**产业链的核心环节，相关公司掌握量子通信的核心技术，推动产业的发展。全球主要的量子设备与解决方案提供商包括中国的科大国盾、问天量子、瑞士的 ID Quantique 和美国的 MagiQ 四家公司。

**核心零组件环节：**中国在核心零组件环节还存在一定瓶颈，部分依赖进口，与信息安全的自主可控还有一定差距，这给相关公司带来巨大商机，中国电科集团旗下部分研究所已经开始产业化进程，我们预计将有更多公司进入该领域。

**网络建设和系统集成环节：**量子通信需要在现有的光通信网络中添加相关设备，开辟单独的通道以确保信号的稳定性，还需要进行设备调试等，网络建设和系统集成商承担这些任务。

**网络运营：**与传统通信网络类似，运营商维护网络，向用户收费。

**图 11：中国设备和解决方案公司竞争力强**

量子设备提供商	量子产品
科大国盾	GHz 量子网关, 光子交换机, 高速皮秒脉冲激光器
安徽问天量子	量子密钥分配终端, 量子安全网关, 红外单光子探测器, 高速皮秒激光器 量子交换机, 量子路由器
朗研光电	单光子探测器, GHz 窄脉冲光源
ID Quantique 公司 (瑞士)	量子网关, 随机数生成器
MagiQ 公司 (美国)	量子网关, 量子密钥分发系统

数据来源：各公司网站、东方证券研究所

量子设备主要包括量子网关和量子交换机。量子网关是当前量子通信技术的最核心设备，具有量子密钥分发与管理、数据加解密等功能。量子交换机是量子网络中实现量子信道共享的关键设备，位于网络拓扑的汇聚节点，集中管理网络信道资源。

量子网关的核心部件包括激光器，单光子探测器和密钥管理模块。量子交换机是量子网络中实现量子信道共享的关键性设备，能够控制量子信号传输线路在多用户间进行切换，实现量子信号“不落地”型中继传输，其核心部件是控制模块和波分复用器。

**图 12：量子通信的核心设备**

核心设备	功能	核心器件
------	----	------

量子网关	量子通信设备的核心，具有量子密钥分发与管理、数据加解密等功能	单光子源 硬件随机数发生器 光纤干涉仪 光相位调制器 控制电路
量子交换机	量子网络中实现量子信道共享的关键设备，位于网络拓扑的汇聚节点，集中管理网络信道资源	波分复用器 控制电路
单光子探测器	探测微弱光子信号并转化成电流信号	雪崩二极管 半导体制冷片

数据来源：科大国盾、问天量子、东方证券研究所

单光子探测器常常从量子网关中独立出来，用于探测微弱光子信号并转化成电流信号，是接收信号的核心设备。

**图 13：量子通信核心设备的核心零部件**

核心器件	功能作用
单光子源（窄脉冲激光器）	生成单光子，以承载密钥
雪崩二极管	单光子探测器的核心部件，放大单光子信号以便探测
半导体制冷片	单光子探测器的冷却装置
干涉仪和相位调制器	构成一对自动补偿装置，能够保证低误码率
硬件随机数发生器	产生密钥的关键器件，产生数据系列完全随机，理论上不可预测
波分复用器	控制量子信号传输线路在多用户间进行切换

数据来源：科大国盾、问天量子、东方证券研究所

### 3.3 量子通信市场空间巨大

我们根据公开资料大致估算，按照现有网络的 10–100k 带宽计算，十三五期间中国的量子通信网络在网络建设与系统集成环节的市场空间可超过 650 亿元，按照网络建设与系统集成环节 30% 的附加值计算，量子设备与解决方案提供商有 450 亿元市场空间，核心模块和零部件供应商则有望获得上百亿元市场空间。网络运营商环节商业模式尚不成熟，暂不做估算。

量子通信一旦获得广泛应用，100k 的带宽将远远满足不了需求，持续带宽扩容将带来行业的持续发展。

**图 14：十三五期间量子通信网络市场空间超过 650 亿元**

网络	应用领域	市场规模
城际网	2 万公里以上，现有 8 万公里光纤骨干网 30% 渗透率	200 亿元

城域网	333 个地级市	333 亿元
行业专网	金融、军队、公安、电力等系统	100 亿元
广域网	跨国通信等	数十亿
<b>合计</b>		<b>650 亿元以上</b>

数据来源：东方证券研究所

十三五期间，国家有望加大城际主干网的建设，除了已规划的沪杭、京沪干线将在 2016 年进入实质建设阶段，沪广干线等有望陆续推进。中国已建成总长度近 8 万公里的八横八纵及附属的光纤骨干网，假定量子通信骨干网在十三五期间完成 30% 的渗透率，总长度有望超过 2 万公里，按照沪杭干线的投资规模估算，市场空间高达 200 亿元。

**图 15：明年有望建设完成的两条骨干线**

	沪杭	京沪
长度-千米	200	2000
中继点数	3-5 个	30 个以上
带宽	100k	10k
投资额	1.7 亿元	6 亿元
进展	2016 年底建成	2016 年建成
建设方	浙江东方	神州信息、方法科技、中国通信建设集团

数据来源：新华网、东方证券研究所

随着城际骨干网的推进，城域网有望在 2017 年开始更大规模建设，按照每个城市 100 个节点，每个节点 100 万元造价计算，全国 333 个地级市的总投资规模高达 333 亿元。

此外，金融、军队、公安、电力等系统存在大量的百亿元的专网建设需求。

## 4、量子通信相关标的

量子设备与解决方案提供商处于产业的核心环节，科大国盾和问天量子依托中国科技大学的世界领先研发能力，走在世界产业化的前列，一旦上市将是最好的投资标的。

已上市公司中，暂时缺乏显著受益于量子通信的公司，但我们认为，量子通信产业的日益成熟将吸引更多上市公司进入该领域。相比而言，我们当前看好两条投资主线：

1. 与科大国盾或问天量子具有股权关系或在业务层面进行合作的公司，建议关注：神州信息、浙江东方等。

2. 在量子通信核心设备或核心零组件具有技术积累的公司，建议关注：华工科技等。

神州信息：子公司神州数码系统集成公司中标京沪干线项目建设和系统集成，中标额度达亿元以上。京沪干线项目总投资 6 亿元，其它两个中标公司是北京方法科技和中国通信建设有限公司。

浙江东方：参股 49%的浙江国贸东方投资管理有限公司（简称“东方资本”）拟通过旗下的产业基金（规模为 5.669 亿元，其中浙江东方出资 1.5 亿元）出资 4000 万元参股浙江神州量子网络科技有限公司（简称“神州量子”），神州量子将在浙江省探索纯商业化建设和运营量子通信网络。

华工科技：华工科技在激光发射器、光器件等领域拥有独特的优势。公司的量子点激光器是制备单光子源的很好途径。华工科技正源光子技术有限公司首席科学家王肇中是该领域的突出专家。

## 5、 风险提示

量子通信网络产业化进展缓慢，网络建设规模不及预期。

相关上市公司未能在量子通信领域取得突破。

## 6、 附录

### 6.1 量子通信的技术细节

传统通信手段中，窃听者通常所用的方式是截取信息，复制以后留下一份，再把原信息重新放回信道；然后对自己手里的信息进行测量，这样窃听者就能窃取完整的信息。这在传统通信方式中是不可避免的。

图 16：传统的窃听手段



数据来源：互联网、东方证券研究所

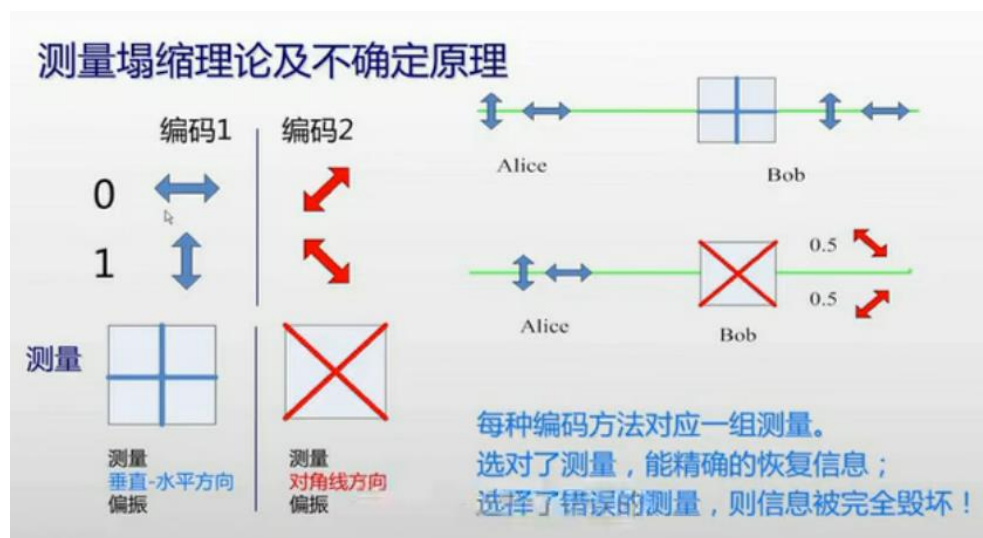
而在量子通信中，量子密码的安全性由量子力学的物理原理保障：

图 17：量子通信的物理学原理保障

量子力学原理	介绍
不确定原理（测不准原理）	两个具有互补性的物理量不能同时精确测量
测量塌缩原理	未知的量子有不确定的状态，对量子的测量会导致量子停留在这一状态，称为“波包塌缩”，如果测量工具和量子原本状态不匹配，则会改变原本状态
不可克隆原理	无法对一个未知的量子态进行精确的复制
单个光子不可再分	不存在半个光子

数据来源：东方证券研究所

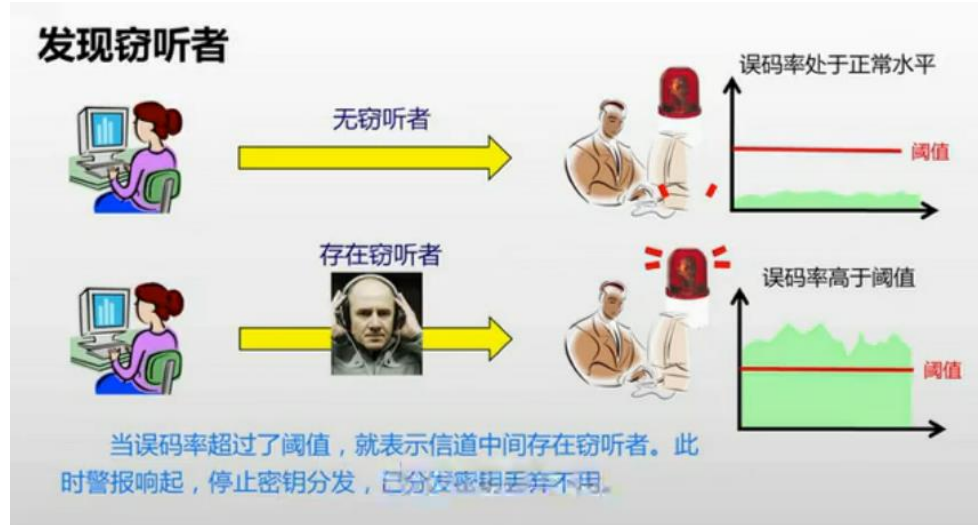
图 18：测量塌缩理论及不确定原理



数据来源：互联网，东方证券研究所

如果窃听器复制光子，（不可能，无法对一个未知的量子态进行精确的复制）；如果窃听器想拿取一半的光子进行测量，（不可能，单个光子不可再分）；而如果窃听器对光子进行测量以后再放回信道，则会有 1/4 的概率得到错误的测量结果并且改变光子原本的状态，会导致接收端的测量的结果，误码率增加 25%。能及时发现窃听器，保护通信信道的安全。

图 19：存在窃听者会导致误码率增加



数据来源：互联网、东方证券研究所

## 6.2 量子设备产品与零部件图片

由于零组件等方面的约束，当前的量子通信设备体积较大，需要放置在机房中。

图 20：量子通信网络集控站



数据来源：山东量子科学技术研究院、东方证券研究所

图 21：量子网关



数据来源：山东量子科学技术研究院、东方证券研究所

图 22: 量子交换机



数据来源: 山东量子科学技术研究院、东方证券研究所

图 23: 量子保密通信系统



数据来源: 朗研光电、东方证券研究所

图 24: GHz 窄脉冲光源



数据来源: 朗研光电、东方证券研究所

图 25: 近红外单光子探测器 SPD4



数据来源: 朗研光电、东方证券研究所

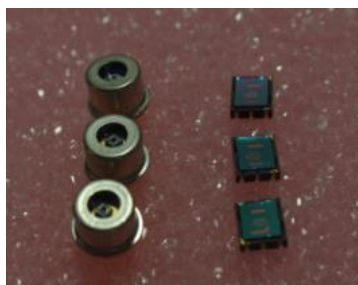
### 真随机数发生器和雪崩二极管

图 26: 真随机数发生器



数据来源: Sun、东方证券研究所

图 27: 雪崩二极管



数据来源: 互联网、东方证券研究所



---

**图 28：半导体制冷器**



数据来源：一冷科技、东方证券研究所

---

**图 29：光交换机**



数据来源：互联网、东方证券研究所

---

光纤干涉仪和光相位调制器

---

**图 30：光纤干涉仪**



数据来源：互联网、东方证券研究所

---

**图 31：光相位调制器**



数据来源：互联网、东方证券研究所

---