

十年建量子互联网？专家说“乐观了”

本报记者 李佳师

近日，美国能源部在其量子研究大本营芝加哥发布了一份报告，公布了《美国量子互联网发展战略蓝图》(简称《蓝图》)，透露美国量子网络的研究已从小规模实验转向全国性量子互联网设施建设，预计用10年时间建成。《蓝图》提出要确保美国在全球量子竞赛中处于前列，阐述了美国量子互联网需要完成的基本研究内容以及工程和设计上的瓶颈，并设定了近期的目标。量子互联网和今天的互联网有什么区别，为什么需要10年才能建成，其中有哪些难点；量子互联网大概得需要多少钱才能够建成？

量子互联网到底是什么

科学家们希望利用量子的叠加性、纠缠性等一系列特性，构建一个几乎无法破解的高速网络。

究竟是什么量子互联网？中国工程院院士潘建伟认为，量子互联网可以处理和储存量子信息的节点与传递量子信息的信道组成。

“当前的互联网传递、处理、储存的是经典信息，而量子互联网传递、处理、储存的是量子信息。”国盾量子公司总裁赵勇接受媒体记者采访时给出量子互联网与现在互联网的区别。

虽然量子互联网与现有互联网根本目的都是信息的运算、存储和传递，“但因为携带信息的基本单元，运算、存储和传送规则的不同，带来的整体网络架构、网络协议、设备单元、中继和终端等也会有根本性的变革。”北京大学自动化学院教授王健全在接受《中国电子报》采访时表示。

而从老百姓的视角来看，这样“高精尖”的量子互联网究竟与我们的生活有什么样的关系？我们已经有了互联网，为什么世界各国对于量子互联网还如此“痴迷”？

就像每一次科学进步就为我们打开一个新世界一样，量子互联网的到来给我们创造一个更美丽的新世界。用潘建伟的话说：“互联网的发明将人类带入信息时代，量子互联网则将提供另一个能够真正改变世界的机会。”简而言之，科学家们希望利用量子的叠加性、纠缠性等一系列特性，来构建一个几乎无法破解的高速网络。

“早期该网络服务的客户可能是银行、医疗服务、国家安全以及飞机通信。最终，量子网络技术在手机中的应用可能会对全世界每一个人的生活产生广泛影响。”美国能源部的报告上这样描述，“如果网络可以进行组合和扩展，那么社会可能就处在数据通信突破的风口浪尖。最后，创建超级灵敏的量子传感网络可以让工程师更好地检测和预测地震，或者寻找地下的石油、天然气

或者矿产。”

以量子传感器为例，相比较于传统的传感器，量子传感器更敏感、更精准，能够完成很多看起来不可能完成的任务。比如对于阿尔茨海默症，量子磁力仪可以成本更低、更灵敏地检测到早期病症；比如癌症，一种名为微波断层成像的技术已应用于乳腺癌的早期检测多年，而量子传感器则有助于提高这种技术的灵敏度与显示分辨率，而且其成像不会对人体造成电离辐射；比如自动驾驶，基于冷原子的量子传感器，导航系统不仅可以将位置信息精确到厘米，还具备在水下、地下和建筑群中等导航卫星触及不到的地方工作的能力。而有了量子传感网络，就可将量子传感器的这些能力更高效的利用，普惠大众，就像今天的云计算一样。

量子互联网是一步一步向前演进的，不断把量子计算、量子传感、测量等各类功能融入进来，最终的目标是形成包括量子安全网络、分布式量子计算和量子传感网络在内的“全量子网络”。

北京科技大学自动化学院教授王健全进一步分析了美国量子互联网计划的应用和发展路径。从应用看，美国未来量子互联网包括：传感网（多个量子传感器通过网络互联，例如分布式量子钟、量子望远镜、量子图像识别等）；可扩展量子计算（多个小型量子计算机通过网络互联）；量子保密通信（包括QKD、量子盲计算等）。同时美国的量子互联网还提出了分阶段的发展路径：一是基于光纤网络验证量子安全协议（基于测量-制备的量子网络，不一定利用纠缠，基于可信中继，与京沪干线类似）；二是城域纠缠分发（基于光交叉组网，实现小规模量子传感网应用）；三是基于纠缠交换的城际量子通信（基于初步的量子存储器）；四是洲际量子纠缠分发（基于量子中继）；五是构建跨领域的生态系统，实现从实验室到商业运营。

目前世界各国正在开展新一轮的量子互联网竞赛，除了美国，欧洲也宣布了其相关的量子互联网计划。“美国的方案比较宏观，强调利用网络化量子设备实现经典技术无法实现的新功能。欧盟的最新方案有所细化，计划未来三年将推动欧洲范围的量子通信网络建设，定位是完善和扩展现有数字基础设施的安全应用，中长期是逐步实现全量子网

络。”赵勇表示，“从初级到终极，信息安全应用会贯穿量子网络始终，量子密钥分发也将随网络的升级而升级，贯穿始终。”

量子互联网难在哪里

量子互联网遵循的是量子力学，是量子理论和信息学科的交叉融合理论。但目前量子系统理论还未完全建立。

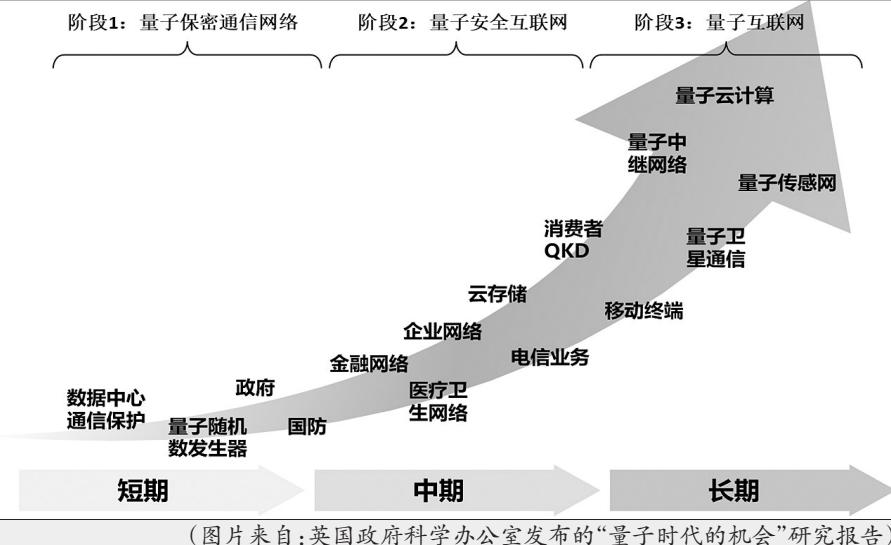
美国在该报告中表示，要创建一个成熟的量子互联网原型，需要多方的密切协调，包括能源部、国家科学基金委、国防部、国家标准与技术研究所、国家安全局、NASA等联邦机构，以及国家实验室、学术研究所和工业界等共同参与。为什么美国提出量子互联网的计划仍需要十年时间才能完成，而且需要如此多的机构参与，其中的难点到底在哪里？

“理论和设备是量子互联网发展的两道坎。”王健全表示，“从理论的角度看，量子互联网与现有互联网所遵循的理论不同，现有的互联网遵循的是基本的通信理论，如香农信息论、排队论、奈奎斯特抽样定理等；而量子互联网遵循的是量子力学，是量子理论和信息学科的交叉融合理论。但目前量子系统理论还未完全建立。”

目前仅有的相对成熟的理论还局限于量子密钥分发（QKD）协议，仅能够实现密钥的安全分发；对于基于纠缠分发、量子中继等新技术，有望连接分布式量子计算机、突破经典通信容量极限的“量子互联网”，其理论基础、网络架构、传输协议、接口协议等均处于空白。

从设备的角度看，基于量子纠缠分发、存储、传送、计算、传感的系列设备还不成熟，或者说构建量子网络单元的系列设备研究还处于初级阶段，相应的标准就更是缺乏。

目前虽然在中国的推动下，国际电信联盟（ITU-T）成立了量子信息网络焦点组，国际互联网标准组（IETF）也成立了量子互联网研究组，但其所立项目大多也只停留在量子互联网的概念和应用场景等基础研究方面，因为目前全球还没有相关产业链的支持。



(图片来自：英国政府科学办公室发布的“量子时代的机会”研究报告)

持，对于量子互联网的实用化、标准化、产业化还无从做起。王健全进一步表示：“理论不成熟，标准空白，芯片、模组、器件、设备每个都是难题，所以美国宣布用10年建成还是比较乐观。当然过程中也可能有大的理论和设备层面的突破，会加速进程。”

另一位量子领域的业内人士认为，作为最终目标的全量子网络还有诸多极为困难的技术挑战，特别是长时间、大容量、高效率的量子存储和中继，确定性的、高速率的纠缠制备等。实际上，这些技术的难度和大规模量子计算机是大致相当的。所以他表示，美国之所以需要10年时间，大概率是要做成全量子网络的示范性原型。

此前，《Science》的文章《Quantum internet: A vision for the road ahead》认为，量子互联网其功能发展由近及远可分为六个阶段：第一阶段是可信中继的网络；第二阶段是制备测量网络；第三阶段是纠缠分发网络；第四阶段是量子存储网络；第五阶段是容错量子比特网络；第六阶段是量子计算网络。《Science》文章中提到，现今的量子互联网处于第二阶段，代表性的技术是基于可信中继的量子密钥分发网络，其能够带来更加安全的网络通信。

由于量子互联网和互联网基本原理不同，量子互联网仅仅处于概念提出的起步阶段，考虑到理论、标准、设备和网络的成熟需要很长一段时间，所以两个网络之间必然是长期共存的。

建量子互联网需要多少钱

在宏观战略上重视，在微观战术上要务实，要根据设备研发进展进行小范围的试点，边研究边推进。

目前世界各国在量子互联网上的投入各不相同。欧洲的量子互联网计划没有给出明确的资金数目，按照量子技术旗舰计划，预计未来10年，其在地面量子通信投入约3.5亿欧元，在天基量子通信投入约11

亿欧元，但究竟投入多少建成量子互联网，没有给出具体资金量。

2017年9月，俄罗斯国家开发银行曾透露，计划投资约50亿元人民币专项资金用于支持俄罗斯量子中心开展量子通信研究，并计划在俄罗斯建设量子保密通信网络基础设施，先期将建设莫斯科到圣彼得堡的线路。

美国国家量子计划法案于2018年12月正式签署颁布，主要聚焦量子通信、量子计算机和超精密量子传感器三大领域，当时的计划是投资约13亿美元，集合国家力量统一协调量子技术和产业发展，服务美国经济和国家安全。而今年7月出台的《蓝图》还没有给出具体的资金数目。

“由于量子互联网概念刚刚提出不久，芯片、设备及网络单元还处于研发的起步阶段，从原型研发到设备再到真正商用还有很长的路要走，中间也存在诸多的不确定性，现在提建成量子互联网需要多少资金还为时过早，待有相关标准可依，相关网元设备成熟后，再来讨论这个问题也不迟。”王健全表示。

中国是否需要这样的量子互联网呢？如果认可量子互联网是未来的趋势，那么答案毫无疑问是肯定的。那么如何既保持竞争中不落伍，同时又没有太多的投入风险？王健全给出了这样的建议，在研发上积极投入，重点部署下列研究：一是量子互连网络的网络架构、组网技术、协议、接口等层面的研究；二是量子网元层面的积极研发，包括量子计算、传感、存储、中继、终端等设备的研发；三是大力推进量子信息和传统通信领域的交叉融合创新，从政策上推动更多的非物理研究者能够参与到量子信息的研发中，使得量子信息走出小众，从物理研究走向组网研究，走向应用研究，就会加速其进程。

“而在建网方面，不建议冒进。根据理论、标准、设备网元的成熟度灵活推进。在宏观战略上重视，在微观战术上要务实，要根据设备研发进展进行小范围的试点，边研究边推进，从试点中找出设备和组网问题，反馈给设备和关键技术的研发，反过来再推进组网技术的进一步成熟。”王健全说。

财税投融资：创“芯”铸“魂”探新路

(上接第1版)同时鼓励符合条件的集成电路企业和软件企业条件的企业债券、公司债券、短期融资券和中期票据等，拓宽企业融资渠道。一系列新亮点让产业界为之振奋，也为先进工艺的开发解决了资金瓶颈。

解决融资难

激发小微企业创新活力

资本市场对集成电路或软件企业的关注并不包括小微企业，对于数量庞大的小微型IC设计与软件企业来说，资金始终是困扰企业发展的主要挑战。小微企业可以说是集成电路与软件产业中最具有创新活力的一个部分。在它们当中有希望走出中国最具创新性的公司。培育小微企业成长，激发其创新活力，是产业发展中的重要一环。集创北方董事长张晋芳指出，国内绝大多数IC设计企业处于初创期，公司整体规模不大，加上集成电路行业具有其特殊性——初期研发投入大，流片费用高，盈利不稳定等，因此，一般情况下企业的财务指标不会太好看。而市场上多数投资机构的管理者并不十分了解集成电路的行业特点，认为投资IC设计企业的风险大、回报周期长，并不愿意投资。

8号文的投融资政策让小微企业受益很多。8号文支持和鼓励集成电路企业、软件企业运用资本市场的创业板、科创板等不同渠道进

行融资，并畅通原始股东的退出机制。这些措施的出台将激发各方面投资发展集成电路与软件产业的积极性，为产业发展营造宽松的资金氛围。

有了好的政策，企业却无法真正享受到，只能“望梅止渴”，也是企业从业者常常面临的问题。有企业管理者对记者表示，无论是IC产业还是基础软件，这样的基础性产业，都有着投资高、周期长、风险大的特点，企业成立的前几年都是纯投入期，没有什么盈利。减免的年限过短，对企业意义不大。往往是企业前期没有盈利享受不到减免税的优惠，企业刚有盈利，却要开始交税，根本没有积累的时间。8号文延长了重点企业享受免税政策的时限，在照顾到新设立的小微企业同时，将长期经营的企业也纳入进去。速芯微电子董事长唐伟炜指出，本次的政策更全面，比如这次提到了针对10年以上的企业的支持。

在“新基建”范围中，国家发改委明确提出了创新基础设施建设，包括支撑科学研究、技术开发、产品研制的具有公益属性的基础设施。可见，国家对科技创新给予越来越高的重视。集成电路和软件属于高度全球化、技术密集的产业类型，它的发展必须有产业链、创新链、金融链的密切配合，才能把产业做好。这是一套组合拳。近年来，我国集成电路与软件产业有所发展提高，金融手段也在跟进。那么，下一步创新链的问题也必须解决好。

探索财税金融政策

引导创新研发

研究如何通过财税政策与投融资政策，加强对企业的引导，使

企业将更多资金与精力投入到技术研发与创新当中，将是今后工作的重要方向。

“当前，最重要的事情是要形成‘资本+技术’的双轮平衡驱动”，这次的新政策更多的是从税收角度入手，与上市等手段形成组合拳，解决钱的问题。但在创新投入上还是泛泛而谈，缺少具体措施。集成电路作为创新驱动的产业，创新措施不落实，就一切免谈了。”这是中国半导体行业协会副秘书长、清华大学微电子所教授魏少军接受《中国电子报》采访时特别指出的一点。

速芯微电子董事长唐伟炜表示，集成电路行业和其他行业不太一样，这个行业研发投入十分大，且更新迭代快，一旦跟不上很容易就被淘汰掉，因此尽管研发投入大，但是还需要一直持续投入，本次政策解决了很多这方面的问题。

在“新基建”范围中，国家发改委明确提出了创新基础设施建设，包括支撑科学研究、技术开发、产品研制的具有公益属性的基础设施。可见，国家对科技创新给予越来越高的重视。集成电路和软件属于高度全球化、技术密集的产业类型，它的发展必须有产业链、创新链、金融链的密切配合，才能把产业做好。这是一套组合拳。近年来，我国集成电路与软件产业有所发展提高，金融手段也在跟进。那么，下一步创新链的问题也必须解决好。

有序引导 为产业过热降温

产业过热、一窝风上马项目，也是当前行业中面临的主要问题。以IC设计行业为例，目前中国设计企业接近2000家，是全球其余国家和地区总和的3倍多！产业过热、一窝风上马项目，必然导致原本就不丰富的资金、人才资源进一步分散，抢人大战就是这一背景下行业中出现的一个问题。更重要的是各地争相上马项目，必然很难与国家整体布局一致，不利于产业的长期可持续发展。

8号文对此提出了一些新的要求，对集成电路和软件的未来项目建设采取了有保有压的态度。魏少军指出：“我注意到《若干政策》的表述中多次出现‘国家鼓励的集成电路生产企业或项目……’的表述方式。”

相较于以往的普惠性政策，8号文有针对性地提出了重点支持的对象。近几年集成电路产业确实有一哄而上的倾向。新政策表明，产业发展要坚持有所为有所不为，不是所有和集成电路沾边的企业都会得到扶持。对那些不顾客观条件，跟风盲目上马的项目，8号文的财税政策显然是不鼓励的。

从整体战略来看，发展产业要按照产业规律进行。如何处理“集中”与“分散”、“长期”与“短期”的矛盾，这需要国家层面的调控，8号文利用财税和投融资政策巧妙表达了这方面的意图。

(上接第1版)亟需平滑升级、自动化运维的新一代私有云系统平台，推动新一代私有云的服务化部署以自动化运维为主、本地运维为辅的轻运维模式。

多方携手破解难题

破解这些难题，首先需要技术设计理念的变革，必须从传统的私有云向新一代的私有云进行进化。陈喜伦表示，新一代私有云的主流形态应该以企业客户防火墙内的复杂环境和数据需求为设计初衷，建立以客户数据为中心的、具备多云管理能力的私有云。这就意味着它拥有更为广泛的硬件和软件的生态兼容性，兼顾企业级新一代应用和传统应用，同时具备应对企业复杂环境下的可进化特性，还可以提供公有云类似的消费级体验。

赛迪顾问的报告给出了两条主流的私有云演进路线，一条是以VMware和easystack为代表的“私有云产品进化模式”；二是以华为云stack、阿里云Apsara Stack为代表的类似AWS outposts模式的“公有云私有部署模式”。

解决体验一致性的问题，丁阔认为，可以通过多云管理平台来统一管理多种私有云环境、异构资源，提供统一的运维、运营界面，为企业最终用户提供一致的服务目录，来保证使用体验和使用流程的一致性，提升企业的IT管理效率。

除了技术设计理念上的变革，推动生态合作与专业分工是另外一个重

私有云开启服务新模式

要的抓手。陈喜伦表示：“下一步要想更好地推动云计算的发展，需要更加注重产业链分工，杜绝重硬轻软现象，有效地带动应用层面的产品形态、产业业态和商业模式创新。”

钱一峰认为从生态分工的角度看，云服务商需要提升自身的产品能力，引入迁移、备份等合作伙伴，同时丰富行业解决方案，引入行业ISV合作伙伴等。只有进行更多的专业协作，才有可能让用户获得更好的用户体验。钱一峰认为另外一个解题的方法是：“对于私有云产品的各种功能，可先在公有云上得到充分的大规模验证，再协助客户做私有云部署。”

因为“私有”，需要企业IT部门引进专业人员对企业数据中心进行监控和管理，并且培养其职业操守，避免内部数据信息的泄露和丢失。张晓辉进一步强调，对私有云服务商进行资质认证很重要，客户在选择时可以擦亮眼睛，选择有安全认证、有资质的云服务商，保障信息安全。提前做好虚拟机的灾备工作，如按照应用级别备份、系统级备份、虚拟机级备份，单个级别进行数据备份工作。选择信誉好的相对可靠的云计算服务提供商。选择集研发、生产、部署运维为一体的云服务厂商，可以输出稳定、及时而相对较低成本的运维服务。

私有云的大幕正在拉开，就像赛迪顾问在《私有云研究报告》中所言，如何“上好云、管好云、用好云”，成为私有云用户的普遍诉求，那么如何让私有云变得好用、好管，用起来舒心、省心，带来更多、更大的价值，就成为众多云计算厂商接下来的奋斗目标。