

“飞天有神舟，潜海有蛟龙，追风有高铁，入地有盾构”，我国在关键技术领域取得的多项重大突破令人振奋。盾构机是一种全断面隧道掘进机。“盾构”之“盾”，是指在一段钢筒的保护下，完成隧道掘进与排渣，而“构”则是指在掘进、排渣的同时，用预制混凝土管片，构建起隧道的坚实壁面。因此，盾构机被称为“世界工程机械之王”，广泛应用于地铁和高铁、公路、市政、水电等隧道工程建设。

盾构机是一个国家综合制造能力的体现，是名副其实的大国重器。然而，由于不掌握核心技术，在很长一段时间内，我国的盾构机只能依赖进口，一旦设备出现故障就只能停工，花高价请国外工程师来维修，每天都要承受近百万元的损失。2006年，国务院正式将盾构机的研制列入16项重大技术装备之一。2008年，我国第一台拥有自主知识产权的复合式土压平衡盾构机正式下线。2017年，中国盾构机的产销量攀升至全球第一，在国际上越来越多的工程项目、施工现场，都可以看到中国盾构机作业的雄姿。从无到有，从模仿学习到与外国知名品牌同台竞技，短短10多年，中国盾构机完成了看似不可能的跨越。

盾构为什么是大国重器？

盾构是一个非常复杂的机电液装备，是把一个移动的工厂搬到地下去，它在一个钢筒里，同时完成掘进、排渣和衬砌，把分散的流程集成在一起，同时完成。目前为止，盾构直径最大达到17米，这样一台装备最贵的要超过5亿元人民币，所以这是一个大国重器，是大家都关注的一个焦点。

我国目前是全球使用盾构装备最多的国家，因为我国处在工业化的后期，同时处在城市化的中期，所以有大量隧道的需求。各种隧道施工都离不开盾构，我们预计在未来的15年内，中国的高铁密度还会增加1倍，也就是说从现在的3.5万公里增加到7万公里；我们的高速公路也会延伸，网络的密度还会增加，因为各县都希望通高速。还有南水北调、西气东输、市政管线、国防工程、水利工程等隧道的施工，都离不开盾构装备。目前我们在用的盾构超过3000台，现在整个杭州有300台盾构在施工，因

中国盾构是怎样“炼”成的？

□ 杨华勇



杨华勇，著名流体传动与控制领域专家，中国工程院院士，中国机械工程学会流体传动及控制分会名誉主任，现任浙江大学机械工程学院院长、高端装备研究院院长。在国家自然科学基金、“863”计划和973计划支持下，杨华勇组建了稳定的产学研团队，突破了盾构压力稳定性控制、载荷顺应性设计和姿态预测性纠偏等关键技术，攻克了掘进机掘进过程失稳、失效、失准三大国际难题，研发出土压、泥水和复合三大类盾构样机，走完了研究—设计—制造—工程—产业化的全部过程，实现了盾构机“中国设计—中国制造—中国品牌”的跨越式发展，使我国进入盾构技术先进国家行列。

为杭州在迎接亚运会，所以市场需求非常旺盛，也很庞大。

中国也能自主设计制造盾构

十几年前，我国还不能自主设计盾构，当时我们是完全依赖国外的装备，从欧洲、美国、日本引进各种品牌的盾构。国外的盾构在中国各个城市做地铁施工的时候，也发生各种各样的事故，地面塌陷、房屋倾斜也很多。当年我们解决不了装备的故障或者事故都要依赖国外的专家。我就亲身经历过一次，2001年在广州，德国一个海瑞克盾构在运行掘进过程中遇到故障，只能停工，整个工程都在等待德国来的一个专家。我当时也好奇，想看看德国的专家水平有多高。我们等了很久，等我看到德国专家的时候，很诧异，因为我见到的是一个26岁的来自哥伦比亚的工程师，而这个工程师只是在台北工作过2年以

后，被德国海瑞克公司聘任为现场工程师，到了大陆就变成了专家。从他离开家门开始计算，每天要付3000美金的服务费，而他在整个维修过程当中，不允许当地的工程师介入。

随着铁路、公路、地铁、水利、海底隧道等大量基础设施的建设，我国对盾构机的需求至今占到了全球60%以上。我国幅员辽阔，地质条件又极其复杂，盾构机使用遇到的问题也是世界上最多最难的，诸多不同地质条件下的施工技术难题急需突破，而核心技术的缺失、高昂的成本，让我国在相当长的时期内，在盾构机的使用上，处处受制于人，自主研发和生产盾构机成为摆在我们面前别无选择的唯一出路。

2007年我们研制了中国首台套复合式土压平衡盾构，这是从头到尾都由我国自主设计制造的，当时研制完成了，在河南新乡的车间里面放了一年，我们找不到工地来验证国产的首台套设备。

谁都不愿意第一个吃螃蟹，每一

条地铁线都很关键，我们早期做科研的时候，科研体系都支持，但是在施工体系，建委、地铁公司、施工队谁也不愿意第一个来试用。因为现在每一个打隧道的班组，他们的业绩和收入完全以每天掘进的量来判断，所以任何人都不敢去作决策。

后来有一个机会，我们这台盾构跟德国盾构一起在天津一个老城区掘进。这一条线上的地面结构是老城区，有很多古建筑，其中包括张学良故居和有名的瓷房子、一个博物馆。尤其这个瓷房子，它造价很高，保费也非常高。盾构掘进隧道要在瓷房子下面穿过，如果地表下沉量控制不好，这样一座建筑就会产生裂痕，赔偿金会很多，所以当时大家非常紧张。结果几个月施工下来，我们的设备安全穿过这些文物古建筑，地表的下沉量完全优于国外同等的盾构，这台盾构一战成名。后来，制造这台盾构的中铁工程装备集团有限公司一下就拿到了8台的订单，我们国产化的盾构批量生产就开始起步。

最近10年，中国掀起城市化高潮，地铁盾构需求很大。目前国内有多个城市在建地铁，有地质很复杂的，像广州、深圳、成都、青岛、重庆等。现在各大工程，只要有隧道工程，都是我国自主设计制造的盾构完成的。现在高铁在延伸，高铁增加密度，有很多长的隧道，都用我国自己的设备。不到10年时间，中国成长为盾构设计制造的世界强国。从进口盾构到开始批量出口盾构，我们自主设计制造的盾构到了五大洲24个国家，不仅到了发展中国家，去了“一带一路”沿线国家和东南亚国家，而且也



更多精彩内容扫码看视频

未来自主可控信息安全生态的重要保障 量子通信：

□ 徐飞虎 彭承志 潘建伟

信息安全事关国计民生的重大战略领域。传统的信息安全通过依赖于计算复杂度的加密算法来实现，然而随着计算能力的飞速发展，依赖于计算复杂度的传统加密算法面临着日益加剧的安全风险。

基于量子密钥分发的量子保密通信是迄今唯一原理上无条件安全的通信方式。量子密钥分发是指利用量子态来加载信息，通过一定的协议产生密钥。量子力学基本原理保证了密钥的不可窃听，从而实现安全的量子保密通信。量子保密通信的安全性基于物理学基本原理，与计算复杂度无关，即使未来强大的量子计算机问世也不会对其安全性形成威胁。

量子保密通信是最先走向实用化和产业化的量子信息技术。通过量子密钥分发所生成的安全密钥，除了原理上无条件安全的“一次一密”加密方式外，还可以与经典对称加密算法相结合，兼顾安全性与通信速率。例如，按照现有技术水平，量子密钥分发与AES（高级加密标准）加密算法相结合，可以达到Gbps（交换带宽）的通信速率，同时大幅提升种子密钥的更新率，有效提升通信安全水平。此外，也可与下一代的“PQC（抗量子计算密码）”相结合，增强身份认证等的安全性。

广域量子通信的发展路线

量子通信的发展目标是构建全球范围的广域量子通信网络体系。通过光纤实现城域量子通信网络，进而通过中继器实现邻近两个城市之间的连接，最终通过卫星平台的中转实现遥远区域之间的连接，是广域量子通信网络的发展路线。

在城域量子通信网络方面，中国

科学技术大学先后建成国际上首个全通型城域量子通信网络、首个量子政务网以及首个规模化城域量子通信网络，并在这一过程中将相关技术发展成熟，自主研制的量子保密通信装备已经为很多重要活动提供了信息安全保障。

在基于可信中继的城际量子通信网络方面，国际上首条远距离光纤量子保密通信骨干网“京沪干线”，于2016年底全线贯通。干线全长2000余公里，连接北京和上海，贯穿济南、合肥等地。在沿线金融、政务、电力等部门的合作下，开展远距离量子保密通信的技术验证与应用示范。在“京沪干线”应用示范的基础上，国家发展改革委于2018年2月批复了“国家广域量子保密通信骨干网络”项目，将覆盖京津冀、长三角、粤港澳、成渝等重要区域，推动量子保密通信的规模化应用。

在星地自由空间量子通信方面，在中国科学院的支持下，中国科学技术大学联合中科院上海技术物理研究所、微小卫星创新研究院等单位，研制成功世界上首颗量子科学实验卫星“墨子号”。“墨子号”于2016年8月发射升空，在国际上率先实现了星地量子通信，首次实现了距离达7600公里的洲际量子通信，充分验证了基于卫星平台实现全球化量子通信的可行性。利用“墨子号”积累的成功经验，量子卫星的研制成本已由数亿元降到千万量级，预计2022年初小型化量子卫星将发射升空，为构建低成本群星奠定基础。地面接收站的重量也已由十几吨降到100公斤左右，可初步支持移动量子通信。

结合“墨子号”量子卫星与“京沪干线”，我国率先构建了天地一体化广域量子保密通信网络的雏形，成为近年来国际量子信息研究的一大标志性事件。

量子通信技术应用推广

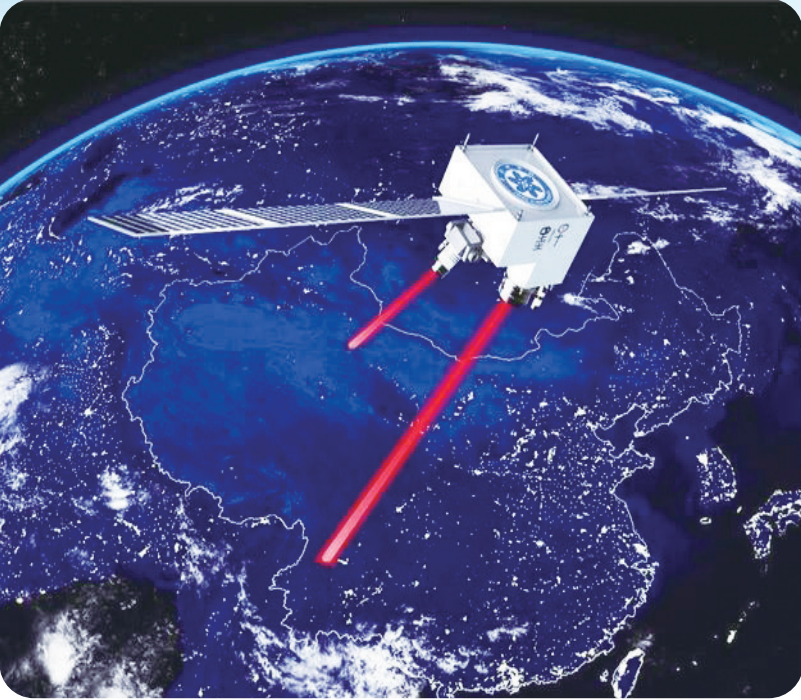
2020年10月16日，中央政治局就量子科技研究和应用前景举行第二十四次集体学习，习近平总书记主持学习并指出，“统筹基础研究、前沿技术、工程技术研发，培育量子通信等战略性新兴产业，抢占量子科技国际竞争制高点，构筑发展新优势”。“京沪干线”和“墨子号”量子卫星等，都是基于我国前期，10余年的基础和应用研究成果而进行的工程化集成与验证项目，为核心器件的自主研发、相关应用标准的制定和未来规模化的应用起到了良好的示范效果，稳步推进了量子保密通信在商业和国家安全领域的应用。

在核心量子通信器件方面，中国电子科技集团有限公司、中国科学技术大学、中科院上海微系统与信息技术研究所等实现了通信波段单光子探测器和量子随机数产生器等主要器件的初步国产化，打破了国外禁运的壁垒。在未来2至3年，通过关键器件的芯片化，量子加密设备的尺寸可缩小到手机大小，并大幅降低成本。

相关应用标准制定方面，在我国50余家科研机构和企业积极参与下，中国通信标准化协会、全国信息安全标准化技术委员会、密码行业标准化技术委员会等国家标准组织，围绕量子保密通信技术的互联互通、安全测评、应用服务等方面，编制了多项国家标准和行业标准。我国学者突破了美加等西方国家的阻碍，在国际电信联盟发起成立了国际首个涵盖量子信息全领域的标准化组织，目前正在牵头编制多项国际标准。

量子通信技术发展前景

近年来，我国学者在单光子雷达



领域已取得了一批具有国际影响力的成果：突破了常温下探测红外单光子的量子效率极限，实现了远距离红外单光子大气雷达探测；实现了大气风场的昼夜连续探测，并创造了200公里的单光子成像最远距离世界纪录。同时，利用单光子雷达能够对隐藏在视线外的物体进行观测，即“非视域成像”，实现“隔墙观物”，在反恐防暴、紧急救援等领域具有广泛的应用前景；实现了远距离非视域成像，首次将成像距离从米级提高到公里级，极大地推动了非视域成像技术的实用化发展。量子通信研究中发展的单光子探测技术还可以极大地提升传统激光雷达的探测灵敏度、探测距离、分辨率等性能，即“单光子雷达”。单光子雷达可以实现对远距离、高精度软目标（大气）和硬目标（物体）的探测，已经在对地测绘、远程预警、

全球态势感知、大气污染检测和预报、航空航天作业等领域发挥了重要作用。

得益于我国率先开展了广域量子通信的技术验证与应用示范，网络技术已初步满足实用化要求，核心器件的国产化和设备的小型化已初步实现，具备了在关键部门先行先试的条件。在激烈的国际竞争环境下，当前正是我国加快推进量子保密通信应用，尽早形成信息安全非对称优势的最佳时机。通过10年左右的努力，我国有望构建完整的广域量子通信网络技术体系，为形成未来自主可控的国家信息安全生态提供重要保障。

