# 给光修一条“气体高速公路”

## 空芯光纤双向实时传输距离刷新纪录

近日,我国完成全球首个千公里空芯光纤双向实时传输验证。据了解,此次试验在1007.48公里的光纤线路上,首次实现了双向各64太字节(Tb)每秒的信号同步传输,千公里信号单程传输只需3.43毫秒,创造了空芯光纤实时传输距离的新纪录。

我们平时上网、刷视频,海量信息都在一根根细细的光纤中飞速传输。传统光纤主要依靠石英玻璃传输光信号,当光纤不再“实心”,传输速度反而有望更快、损耗更低。这种听起来有些特别的技术,就是空芯光纤。



科研人员在实验室研究空芯光纤 图源中国电信研究院

### 空芯光纤传输试验,刷新哪些关键指标

首先是距离,此次试验线路长度为1007.48公里。和同类空芯光纤传输试验的验证距离相比,本次试验把传输距离提升了50倍。其次是速率,线路双向各实现每秒64太字节的信号同步传输,相当于支持每秒160部4K电影的上传和下载(每部按50吉字节计算),与当前性能最好的实芯光纤相比,传输容量提升一倍,传输距离提升60%。最后是时延,信号单程跑完一千公里,只需3.43毫秒。相比于传统的实芯光纤,空芯光纤在气体中传送信号,时延能够降低30%。

三个指标不是各自单独推进,而是在同一条线路、同一套系统上同时实现。中国电信新一代信息通信专业首席专家霍晓莉表示,本次实验的成功完成,证实了空芯光纤在复用现有的传输设备的情况下,能够形成长距离、大容量、低时延的传输能力,为算力网的建设储备下关键的技术。

### 传输介质升级,气体充当光信号载体

如今广泛使用的光纤,绝大多数是实芯光纤,纤芯是石英玻璃,光信号被约束在玻璃中传播。长飞光纤光缆股份有限公司首席科学家王瑞春介绍,光在石英玻璃传输的速度是每秒20万公里。空芯光纤的纤芯是空气,光在空气中传输的速度是接近于真空的速度每秒30万公里,这意味着从传输端到接收端时间会大幅缩短,时延会更小。

玻璃并非传输光信号的完美介质。光在其中传播,会受材料吸收、散射等因素影响,产生能量损耗;光与玻璃材料相互作用,还会带来非线性效应等问题。空芯光纤给出了一个新思路,把光纤中间设计成空腔,让光主要在空气芯中传播,尽可能减少光与玻璃材料的接触。

霍晓莉介绍,相比于传统的实芯光纤,空芯光纤具有低衰减系数、低非线性、低回波损耗、低色散、大带宽等特性。这些特性的根源在于光信号主要在气体纤芯中传输,摆脱了石英介质带来的固有局限。这就好比修路。传统光纤相当于让光在玻璃铺成的道路上行驶,空芯光纤则是给光修了一条特殊的“气体高速公路”,路面材料变了,光的传播环境也随之改变。

### 多重技术难题,支撑长距离稳定通信

这条“气体高速公路”不是把玻璃掏空就能修成的,攻关分布在光纤、设备、系统三个层面。

第一道难题,出在光纤内部的气体上。空气中含有一氧化碳、二氧化碳等气体成分。这些气体会吸收特定波段的光信号,形成气体吸收损耗。早期的空芯光纤纤芯中含有空气,传输距离越长,损耗累积越明显,信号质量受到影响,甚至限制传输容量。项目团队用高纯氩气替换光纤内部的空气,在扩展C+L波段内消除一氧化碳、二氧化碳的气体吸收,实现全波段稳定传输。

与此同时,团队优化了光纤结构和制作工艺,把光纤整体链路在1550纳米波长下的损耗控制在0.1分贝/千米以下。也就是说,光在这条光纤中每传输1公里,光功率损耗不到0.1分贝,相比最好的商用实芯光纤,损耗降低一半以上。

第二道难题,是光纤得先“拉得长”。此前,低损耗空芯光纤的拉制长度有限、成本较高,难以满足长距离试验需求。要修一条足够长的高速公路,得解决光纤怎么造得更长的问题。此次项目团队攻克了长距离拉丝技术,为千公里传输打下基础。

第三道难题,是摸清这种光纤的“脾气”。光信号在不同传播模式之间可能发生模间干涉,双向传输还涉及特殊的反射特性,处理不好就会影响信号质量。团队建立了专门的仿真模型,模拟信号在光纤中的传输情况,评估潜在损伤,优化线路配置,并通过功率调控策略提升系统性能。在设备端,团队结合空芯光纤损耗特性与放大器工作特性,没有采用高功率放大器,而是选用常规输出功率的商用放大器,实现单波800G满波传输系统性能最优。

霍晓莉表示,试验过程基本还原了运营商现网的实际铺设情况,还预留了充足的维护余量,力求保障通信线路在整个生命周期内稳定运行。从光纤制造到线路设计,再到系统调优,多个环节配合,才让光在这条特殊的通道上跑出千公里的新纪录。

### 长距离性能得到验证,优先落地高需求业务场景

本次试验验证的并不只是一个速度数字,而是空芯光纤在长距离场景下的实用能力。我国正在加大“六张网”建设力度。此次验证表明,把光放进气体里,同样可以稳定传输。未来,它有望在更广泛的领域和场景中替代目前普遍使用的实芯光纤,为我国新一代通信网和算力网提供关键技术支撑。

不过,跑得快、传得多,并不意味着空芯光纤很快就能取代传统光纤。霍晓莉介绍,目前空芯光纤的价格仍然较高,比传统的单模光纤高出了几百倍,因此只能优先落地在高价值、时延高度敏感的互联场景,然后逐步渗透多种场景。

商用落地已有先行者。目前,这种空芯光纤技术已经应用在深圳与香港之间的全球首条跨境商用空芯光纤金融专线。在亚洲、欧洲等地区,也已落地超过10个商用及试点项目。金融高频交易之所以成为首选,原因很直接:在这个争分夺秒的领域,毫秒级的时延差异就可能影响交易收益。

下一阶段,空芯光纤有望在大型数据中心之间“牵线搭桥”。如今,人工智能快速发展,大模型训练和推理需要大量算力资源协同工作。数据中心之间就像一群需要密切配合的伙伴,频繁交换海量数据。数据传得够不够快、通信时延够不够低,都会影响协同效率。

王瑞春表示,空芯光纤的技术特性有助于更好地服务国家算力战略。AI数据中心对时延要求非常高,光连接光传输的速率也非常重要。使用空心光纤可以提升计算效率,也可大幅降低GPU或存储芯片的投资成本。

放眼全国一体化算力网络建设,算力资源分布在不同地区,如何让它们更好地协同工作,需要高速率、大容量、低时延的骨干网络。霍晓莉介绍,骨干链路正从单波400吉字节/秒向800吉字节/秒、1.6太字节/秒高速演进,同时执行严格的分层时延指标,跨枢纽骨干单向时延控制在20毫秒以内,区域算力网5毫秒,城市算力网1毫秒。空芯光纤刚好可以同时满足超高单波速率、大容量、低时延等要求,可有效拓宽算力调度边界,支撑大模型分布式训练等时延敏感业务实现“东数西算”跨区域调度。

这条路能走多远,还取决于两件事:光纤制造工艺的成熟度,以及产业链配套的完善度。随着两者逐步推进,空芯光纤有望在高价值场景中率先落地,并为更大范围的算力互联提供新的技术支撑。

从实芯光纤到空芯光纤,改变的是纤芯的传输介质,带来的却是传输距离、传输容量、时延三大指标的全面突破。对普通用户而言,这种变化或许暂时无法感知;但对争分夺秒的交易系统、协同训练的算力集群而言,毫秒之差意义重大。

综合报道:王琳
文图素材来源:新闻联播微信公众号、科技日报、中国电信研究院