

# 流量激增

## 中国移动加速400G光传输成熟

400G 光传输技术蓬勃发展，目前存在多种技术演进路线，需凝聚产业合力，推动关键技术标准化。

中国移动研究院 | 李允博 王东 张德朝 赵阳 王磊 李晗

100G是当前光传输网络的主流技术，我国已建成世界上最大规模的100G WDM/OTN商用传输网络。在“宽带中国”战略及“互联网+”行动计划的持续推动下，移动互联网、云计算、物联网等业务迅速发展，由此导致的流量激增使得作为网络基础的光传输网面临更大的带宽压力。400G是超高速大容量光传输网的重要演进方向，能够进一步提升网络带宽并降低每比特传输成本。

### 技术路线各异，产品逐步成熟

400G继承了100G采用的偏振复用、相干接收、数字信号处理等关键技术。然而，相比于业内统一的100G传输解决方案，400G存在多种技术路线。通常来讲，采用更多的子载波、更高的波特率、更高阶的调制格式，均可以提升传输速率。目前，400G实现方式主要基于双载波和单载波两种方案，且各方案存在多种编码调制方式的竞争，如表所示。其中，传输距离为采用 $n \times 22$  dB多跨段G.652光纤且满足OSNR余量场景下的无电中继距离。不同技术方案的光信噪比、无电中继传输距离等光层性能指标以及系统容量、成本具有显著差异。

基于 $2 \times 200$ G超级通路技术方案的双载波400G系统采用PM-QPSK、PM-8QAM或PM-16QAM编码方式。2014年中国移动完成了国内首个双载波400G ( $2 \times 200$ G) 现网试点测试，验证其传输性能。经过近年来光模块、芯片等核心器件及算法的发展，国内主流传输厂商均已

支持双载波400G方案，并且产品逐渐成熟、性能大幅提升。中国移动以标准引领为抓手，加速新技术成熟落地，于2017年率先在国内实现了双载波400G商用，适用于城域传输场景。

单载波400G技术的研究和标准化工作也同期启动。相比于双载波方案，单载波400G采用更高阶的调制格式，如PM-16QAM、PM-32QAM和PM-64QAM，需要更高的光信噪比，更易受到激光器相位噪声和光纤非线性效应的影响。中国移动于2018年初完成了国内首次单载波400G实验室一阶段测试，验证了华为、中兴和上海诺基亚贝尔单载波400G商用产品的性能和成熟度，涉及单机指标、单跨/多跨系统指标、网管功能等测试项目。测试结果显示，参测设备测试期间性能稳定，单载波400G可以进一步提升系统容量，但是，无电中继传输距离显著降低。

### 推动关键技术，多维度提升传输能力

400G技术持续演进空间大，可从芯

片模块、基础资源等方面共同提升系统性能。在2018年OFC大会上，概率星座整形技术成为目前业界关注和研究的热点。该技术将等概率信源转化成非等概率信源，通过压缩熵编码提升传输性能。国内主流传输设备厂商已具备支持该技术的产品，后续需重点研究和验证对于不同编码方案的性能提升。除了新型调制技术以外，传输媒质指标的提升也有助于提高系统的传输性能。

G.654.E光纤具有超低损耗、大有效面积的特点，从而降低光纤损耗和非线性效应、提升系统无电中继传输距离。中国移动在2014年双载波400G现网试点测试和2018年单载波400G实验室测试中，验证了不同种类光纤下多种码型的传输性能。数据显示，相比于G.652光纤，各方案在G.654.E光纤中的传输性能均有不同程度的提升。针对光纤厂商G.654.E产品指标的差异化情况，建议典型损耗值小于 $0.17$  dB/km、有效面积为 $130 \mu\text{m}^2$ 。业界要通过标准制定，推动G.654.E光纤关键指标的收敛；此外，还要关注G.654.E与G.652光纤熔接损耗问题，综合考虑G.654.E光纤的部署策略。

中国移动正根据双载波和单载波400G系统性能，研究适用场景、推动标准制定、收敛技术路线，进一步合力推动产业发展，着力提升系统关键性能指标。

编辑 | 刁兴铃 diaoxingling@bixintong.com.cn

表 400G技术路线及相关指标

码型	载波数量	系统容量	波道间隔	传输距离
2*200G PM-QPSK	2	12.8T	62.5GHz	1500km
2*200G PM-8QAM	2	16/12.8T	50/62.5GHz	700/900km
2*200G PM-16QAM	2	21/16T	37.5/50GHz	400/600km
1*400G PM-16QAM	1	21T	75GHz	300km
1*400G PM-32QAM	1	25.6T	62.5GHz	200km
1*400G PM-64QAM	1	32T	50GHz	100km