

光纤色散补偿——信息高速公路的基石

简水生

(北方交通大学光波技术研究所, 北京 100044)

作为信息高速公路主干线的光纤通信信息网必须加快高速与超高速光纤通信系统的实用化。启用光纤 $1.55\ \mu\text{m}$ 低损耗大通信容量的窗口(约 20000 GHz)势在必行。如果采用色散位移光纤,只能在 $1.55\ \mu\text{m}$ 处获得低色散(图 1),不能实现 $1.3\ \mu\text{m}-1.55\ \mu\text{m}$ 的宽范围的低色散,因此 $1.55\ \mu\text{m}$ 附近较宽的低损耗窗口的通信容量仍然得不到充分应用。另一方面,常规光纤的零色散波长在 $1.31\ \mu\text{m}$ 处,而在 $1.55\ \mu\text{m}$ 处的色散为 $17-20\ \text{ps}/\text{km}\cdot\text{nm}$ 。由于目前世界上已敷设的近 5000 万公里光纤绝大部分都为常规光纤,所以常规光纤的色散补偿成为国际上的热门课题。近年来这一问题已获得很大进展,即将进入实用化,其经济和社会效益十分巨大。我国现已敷设的光纤全是常规光纤,因此光纤色散补偿就是建设我国“信息高速公路”的重要基石。现将世界上关于常规光纤色散补偿的研究进展简介如下:

(1)利用双模光纤进行色散补偿。其原理是运用高阶模在截止波长附近产生较大的波导色散来实现光纤的色散补偿。但是存在插入损耗大,模式转换不稳定等问题。

(2)控制大负色散光纤对常规光纤的色散进行补偿。目前在实验上已经取得了一些进展,但该种光纤具有较大的传输损耗,且与常规光纤的对接损耗也比较大。

(3)利用 Prechirp 效应来消除常规光纤色散的影响。它是利用初始脉冲的 Chirp 与常规光纤色散引起的 Chirp 相互抵消,从而实现色散补偿。该方案要求对初始脉冲的 Chirp 参数进行严格的调节。

(4)从目前的研究情况来看,比较有希望的色散补偿方案是在光纤线路中点处实现传输信号的光谱反转,使得在前一段光纤中由于色散造成的信号畸变在第二段光纤中得到补偿,在整个线路的输出端得到没有畸变的信号输出。国际上在这方面的研究进展十分迅速,预计很快就可进入实用化。在 1993 年的 OFC 上报道了利用 21 公里色散位移光纤中的四波混频使传输信号的光谱反转,实现 10 Gbit/s 的信号传输 320 公里的实验结果,其色散补偿效果十分显著。图 2 为系统发送端眼图以及未采用色散补偿信号传输 120 km 的眼图与采用色散补偿传输 320 km 眼图的比较。

在 OFC' 94 上又报道了用 7.8 km 色散位移光纤进行中途谱反转色散补偿,实现双路 10 Gbit/s 信号传输 560 km 的实验结果。实验中采用两个偏振态相互正交的泵浦源,在 DSF 内实现了偏振敏感性小于 0.5 dB 的四波混频,转换效率达 $-14.8\ \text{dB}$ 。图 3 为发送端眼图和采用色散补偿传输 280 km 与采用色散补偿传输 560 km 眼图的比较。从图上可以看出中途谱反转色散补偿对系统传输特性的改善是十分显著的。

(5)利用半导体光放大器(SLA)中的四波混频也可实现中途谱反转色散补偿。图 4 为 SLA 的输出谱,从图上可以看出明显的谱反转特征,图 5 为误码率特性比较。

(6)我们提出采用具有大的非线性系数的色散位移光纤进行四波混频光谱反转色散补偿,

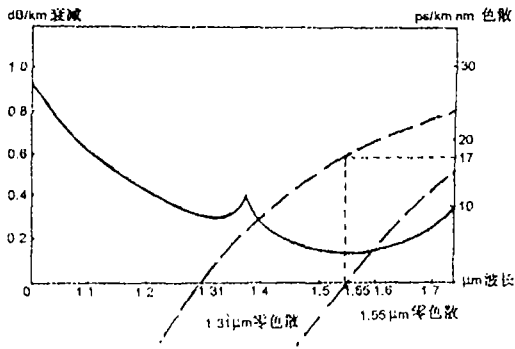


图1 光纤损耗及色散图

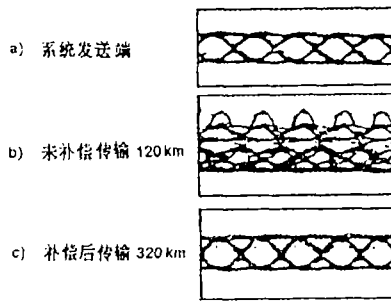


图2 10 Gb/s 眼图



图3 一个通道的眼图

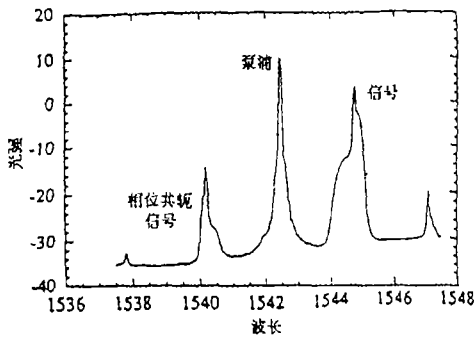


图4 半导体、光放大器的输出光谱

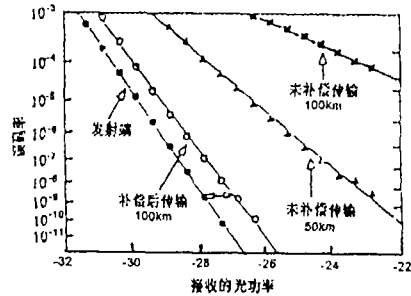


图5 误码率曲线

从而有可能使混频光纤的长度从 7.8 km 降低到几百米,并获得大的转换效率。

对我国来讲,建立高速、超高速光纤通信系统的工作也已起步,天津—沈阳—大连2.488 Gbit/s 光纤通信系统已开始进行招标。用不了几年,5—10 Gbit/s 的光纤通信线路即将开通。因此对色散补偿进行研究具有重要的意义。我国已铺设的光纤数量为 300—400 万公里,均为常规光纤,如果色散补偿问题解决,可将现有的常规光纤通信系统方便地升级为高速或超高速系统,其经济效益将以数十亿元来计算。因此,光谱反转色散补偿的研究不仅是光纤通信学科发展的前沿,而且也是光电子应用领域的基础,同时具有极大的经济效益。

对于将要铺设的新的光缆通信线路,由于采用色散位移光纤作为传输介质的波分复用系统中四波混频效应引起的串话十分显著,国外正在提出正负色散互补的方案,使整个线路上正、负色散相消,线路总色散为零,而单独的正、负色散光纤中都不会产生四波混频,如图 6 所示。为此,我们设计了 +5 ps/km·nm 的光纤和 -5 ps/km·nm 的光纤。这种正、负色散互补光纤具有制造容差大,损耗与常规光纤相当,而且对接容易的优点。正负色散光纤对接后,可在

1.4—1.6 μm 波长范围内使线路的总色散趋近于零,如图7所示。这种正负色散互补光纤的研制成功可以为我国“信息高速公路”的建设打下良好的基础。

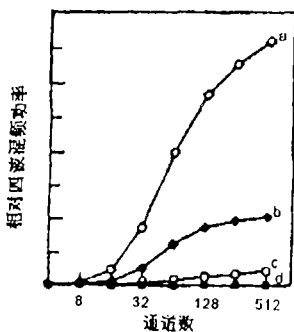


图6 色散值不同时四波混频功率与波分复用路数关系

- (a) 双向, $D=0.3 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$
- (b) 单向, $D=0.3 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$
- (c) 双向, $D=15 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$
- (d) 单向, $D=15 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$

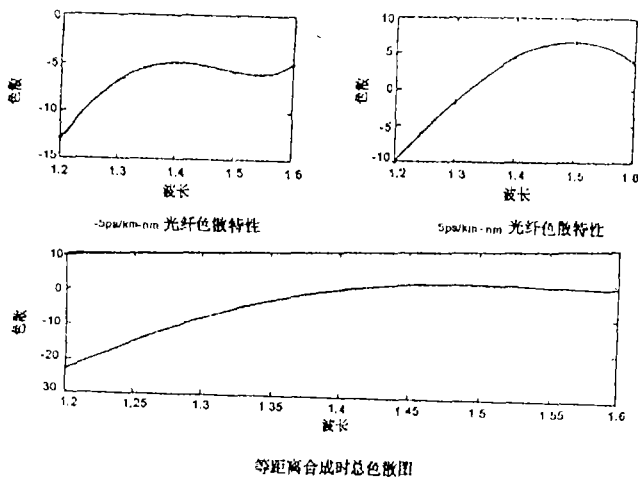


图7

综上所述,立即开展补偿技术的研究对加速我国“信息高速公路”的建设是十分必要的。建议在“九五”期间,将色散补偿方法的研究和正负色散互补新型光纤的研究列为重大项目予以支持。

COMPENSATION OF THE CHROMATIC DISPERSION OF OPTICAL FIBERS—THE FOUNDATION STONE OF INFORMATION SUPER HIGHWAYS

Jian Shuisheng

(Institute of Lightwave Technology, Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China)