

# 2009中国光电产业高层论坛

日期：2009年9月6日-8日  
地址：中国·深圳会展中心会议场馆



烽火科技

## 新一代大容量长距离光传输技术 的发展趋势

武汉邮电科学研究院

毛 谦

2009年9月24日

# 内 容 提 要

- 概述
- 实现大容量长距离光传输系统的必要性
- 大容量光传输系统的实现方法
- 长距离光传输的实现技术
- 结语

# 概 述

- 全国电话用户超过**10**亿，其中固定电话**3.35**亿，移动电话**6.70**亿。
- 全国互联网用户超过**2.98**亿，其中宽带上网用户**2.7**亿。
- 固定加移动**2Mb/s**长途业务电路有**297.8735**万个。
- 互联网宽带接入端口超过**10928.1**万个。
- 网络出口带宽总数达到**640,286.67 Mbps**，较**2007**年增长**73.6%**。
- 所有这些说明对网络带宽的需求量是很大的。

- 互联网的骨干网带宽达到了**6~9**个月就翻一番的速度
- 未来**5**年之内，光传送网的带宽将以每年高于**50%**的速度递增。
- 到**2010**年，骨干网截面带宽流量将达到**50T**以上，其中**97%**以上为数据带宽。
- 当前通信骨干网是以**10Gbit/s**为基础的**WDM**网络构建，已经呈现出“力不从心”的状态，部分段落**80×10Gbit/s DWDM**系统容量已经用完。

- 为更好地疏通网络，更有效地利用现有网络资源及进一步优化传输网，在核心网大节点之间建立快速直达连接越来越显得必要。
- 我国地域辽阔，省会城市间的距离大都在**400~500km**左右（所以我国的假设参考数字段长度定为**420km**）。
- 节点间超过**1000km**的情况比比皆是。如乌鲁木齐至哈尔滨达**6000km**。
- 超长距离光纤传输（**ULH**）系统的技术在这些超长距离连接中大有用武之地。

# 超大容量光纤传输的实现方法

- 提高单通道的传输速率
- 增加**DWDM**系统的波数
  - ✓ 减小波长间隔
  - ✓ 拓展可用波长范围
- 利用多种光复用技术

# 提高单通道的传输速率

- 提高电时分复用的速率：**40Gb/s、160Gb/s**（受制于电的速率瓶颈，要发现新材料）
- 利用**OTDM**提高单通道速率：**160Gb/s、640Gb/s**（受制于光脉冲压缩难度）
- 利用**OCDM**提高速率；（技术难度大）
- 多种复用方式结合使用：**ETDM+OTDM+OCDM**（技术难度十分大）

## 增加DWDM的波道数

### ➤减小波道间隔:

✓ **100GHz、50GHz、25GHz、12.5GHz?**

✓ **40ch、80ch、160ch、320ch?**

### ➤扩展可用波长范围:

✓ **C波段1530~1565nm 安排80波**

✓ **扩展为1527.99~1565.50nm 安排96波**

✓ **扩展为1527.99~1568.77nm 安排104波**

### ➤开发新的波段:

✓ **利用U波段**

✓ **开发波长大于1675nm的波段**

# 光纤的可使用波段

<b>Band</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Range (nm)</b>
O-band	Original	1260 to 1360
E-band	Extended	1360 to 1460
S-ban	Short wavelength	1460 to 1530
C-band	Conventional	1530 to 1565
L-band	Long wavelength	1565 to 1625
U-band	Ultralong wavelength	1625 to 1675

# 利用多种光复用技术

- 光波分复用**WDM**
- 光偏振复用**OPM**
- 光正交频分复用**OOFD**M ?

# 何谓ULH?

- 超长距离光传输方法：
  - ✓ 电再生的“接力”传输方式
  - ✓ 无电再生的光信号“直达”方式
- 在有电再生时，必须经过光-电-光的方式，增加了系统的复杂度，降低了传输质量。
- 例如**160波DWDM**系统，每一电再生点就需要**160**对光收发机和**160**个电再生器。而且系统升级时，所有都必须更换。还劣化了抖动性能和误码性能。
- 无电再生系统以光放大器直接放大，直至宿点才还原出原始的电信号。一个光放大器可以对所有的波长进行放大，系统升级时，一般不必更换光放大器，使用、维护方便。
- 这种无电再生的超长距离（**>1000km**）光传输称为**ULH**（Ultra Long Haul）。

## 国际水平:

- **32Tb/s(320x114Gb/s) over 580km**
- **40x40Gb/s over 10000km via dispersion managed fiber**
- **13.5Tb/s OFDM Coherent system over 6248km**

## 国内水平:

- **3.2Tb/s(80x40Gb/s) 传送800km。**
- **160x10Gb/s DWDM系统在真实光纤上无再生传输3040km，可扩展至5000km。**

# ULH的关键技术问题

- 线路码型和光调制技术
- 光放大技术
- 有拉曼放大时的光信噪比研究
- 色度色散补偿技术
- 偏振模色散补偿技术
- 前向纠错技术
- 相干接收技术
- 光孤子技术

➤ 可供选择的光调制码型有：

✓ 不归零码 (NRZ, Non-return to Zero)

✓ 归零码(RZ, Return to Zero)

✓ 载波抑制归零码 (CSRZ, Carrier Suppressed RZ)

✓ 啁啾归零码(CRZ, Chirped Return to Zero)

✓ 光双二进制码 (ODB, Optical Duo-binary)

✓ 双二进制载波抑制归零码 (DCSRZ, Duo-binary CSRZ)

✓ 差分相移键控码 (DPSK, Differential Phase Shift Keying)

✓ DQPSK、RZ-DQPSK、RZ-AMI、DP-QPSK

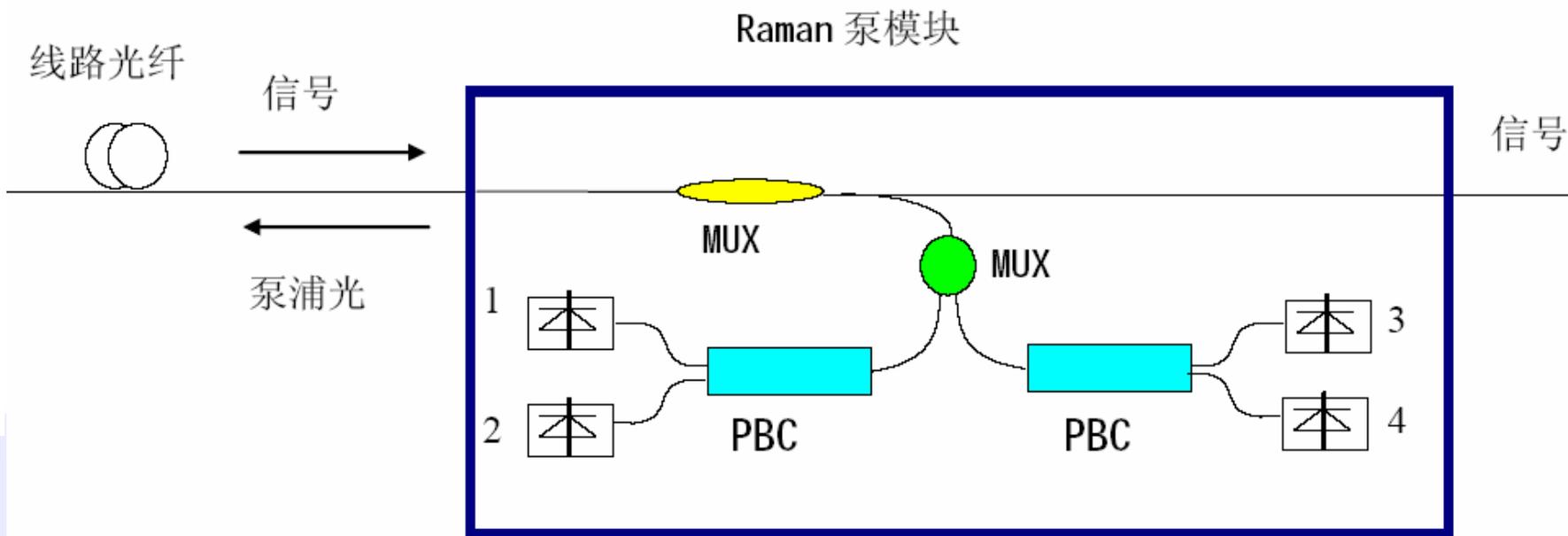
# 光调制码型的选择

- 没有最好的码型，只有适用的码型；
- 选择码型应综合考虑以下主要因素：
  - 系统的波长间隔；
  - 需要传输的距离；
  - 对色度色散的容忍度；
  - 对**PMD**的容忍度；
  - 对非线性的容忍度；
  - 对**OSNR**的要求；
  - 实现的复杂度，即成本因素。

# 光放大器的选择和应用

- 如何选择光放大器，如何正确应用光放大器。
- **EDFA**肯定是**ULH**系统的首选。比较成熟，应用方便。
- **EDFA**的**噪声**指数偏大，数十个**EDFA**串接使系统的光信噪比急剧降低，使接收端无法正常工作。
- **正确应用EDFA**。大跨距、大放大量累积的噪声要比小跨距、小大放大量累积的噪声大，但是太小的跨距使**EDFA**的用量明显增多，既增大了维护量，又提高了成本。
- 根据计算机仿真分析和现行的标准，选择**80km**作为光放大段的跨距比较合适。
- 引入拉曼光纤放大器**ROA**。**ROA**不需要额外的换能光纤，而利用传输用的标准光纤进行分布式放大。虽然放大系数不很高，但有相当低的等效噪声指数，对改善系统光信噪比极有利。因此**ULH**系统中**EDFA**和**ROA**常结合使用，可达到较好的效果。

# 后向泵浦ROA



兼顾非线性和放大量问题

# EDFA系统OSNR计算

$$OSNR = P_{out} - L - NF - 10 \text{ Log } N - 10 \text{ Log}[h\nu\Delta\nu_0] \quad (1)$$

当在**1550nm**且测量带宽为**0.1nm**时，光信噪比成为：

$$OSNR = 58 + P_{out} - L - NF - 10 \text{ Log } N \quad (2)$$

# 有ROA时的OSNR计算

$$OSNR = 58 + P_{out} - L - NF - 10 \text{Log} N + 10 \text{Log} G_{OSNR}$$

其中:

$$G_{osnr} = \frac{OSNR_{\text{有拉曼}}}{OSNR_{\text{无拉曼}}}$$

当  $G \gg 1$  时:

$$G_{OSNR} = \frac{G_{on-off}}{1 + (F_{eq} G_{on-off} - 1) / N_F}$$

# 色度色散补偿问题

传输距离 (km) 受色度色散的限制

传输速率	1550nm(G.652)	1550nm(G.655)	1310nm(G.652)
2.5Gb/s	928	4528	6400
10Gb/s	58	283	400
40Gb/s	3.6	18	25

# 色度色散补偿技术

- 色散补偿模块（**DCM**）
- 光纤光栅色散补偿器
- 可调色散补偿技术
- 自动色散补偿技术
- 预啁啾技术
- 中间频谱反转技术等。

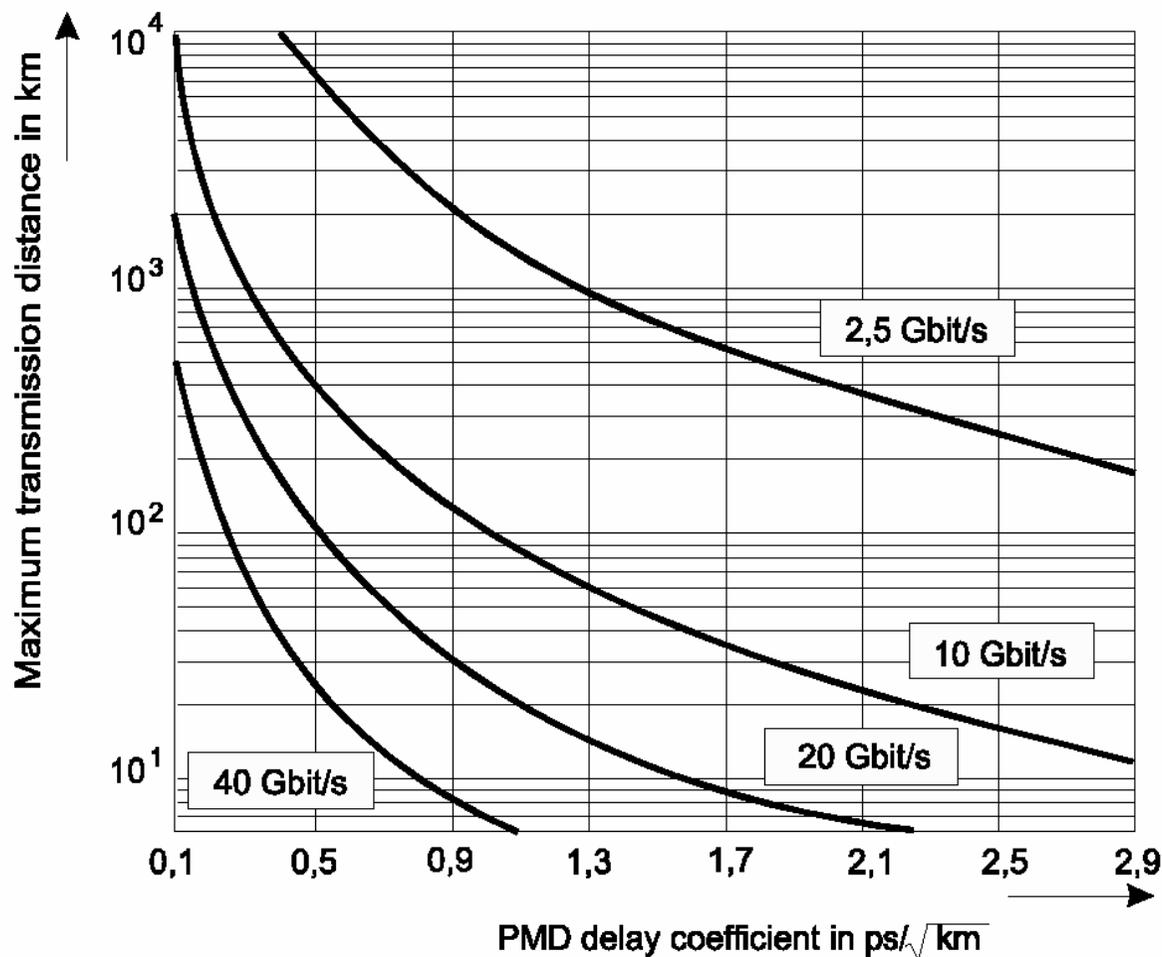
- 色散补偿模块已经比较成熟，对各跨距的合路信号的色散补偿用**DCM**比较合适。
- 在接收端利用可调色散补偿器对每个波长信号进行精确补偿，可达较好的总体效果。
- 无源色散补偿器件的发展也很快，但目前在补偿带宽上仍显不足。该问题解决后，将大大简化系统。
- 色散补偿时，还应注意，一定要留适度的残余色散，以避免系统受四波混频的非线性效应影响。

# 偏振模色散补偿问题

传输距离 (km) 受PMD系数的限制

传输速率	0.5 ps/km <sup>1/2</sup>	0.2 ps/km <sup>1/2</sup>	0.05 ps/km <sup>1/2</sup>
2.5Gb/s	6400	40000	
10Gb/s	400	2500	40000
40Gb/s	25	156	2500

# 传输距离受PMD限制的曲线



- 光域PMD补偿
  - ✓ 前端补偿
  - ✓ 后端补偿
- 电域PMD补偿
- 武汉光迅科技股份有限公司Accelink研制的“基于主偏振态跟踪的PMD补偿器”，可以进行动态PMD补偿，经试验有较好的补偿效果。

# 光纤的PMD水平现状

- 光纤制造技术和工艺水平不断提高
- 光纤几何尺寸、折射率分布的横向和纵向均匀度都有很大改进
- 近期生产的光纤的**PMD**参数都达到较高的水平
- 一般将**PMD<sub>0</sub>**做到**0.2  $ps / \sqrt{km}$**  以下都不成问题，好的可以做到**0.1  $\sqrt{km}$**  以下
- 最好的厂家的典型值为**0.016  $ps / \sqrt{km}$**

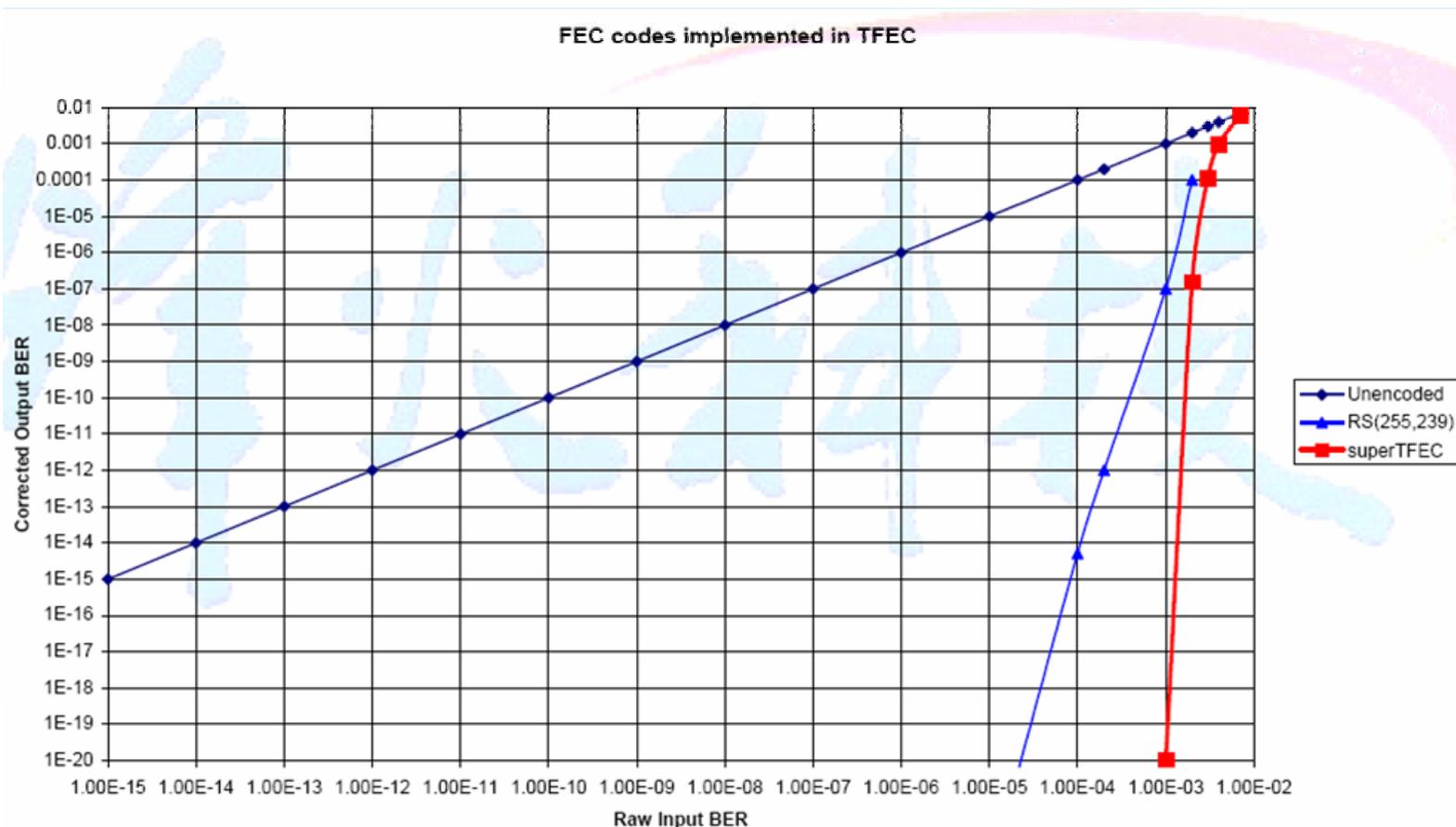
# 前向纠错码FEC

即使已经应用了上述关键技术，许多**ULH**系统还不一定能实现目标要求的传输距离。这主要还是**OSNR**不够的矛盾，解决这一问题还有一个关键技术，就是前向纠错码**FEC**的应用。

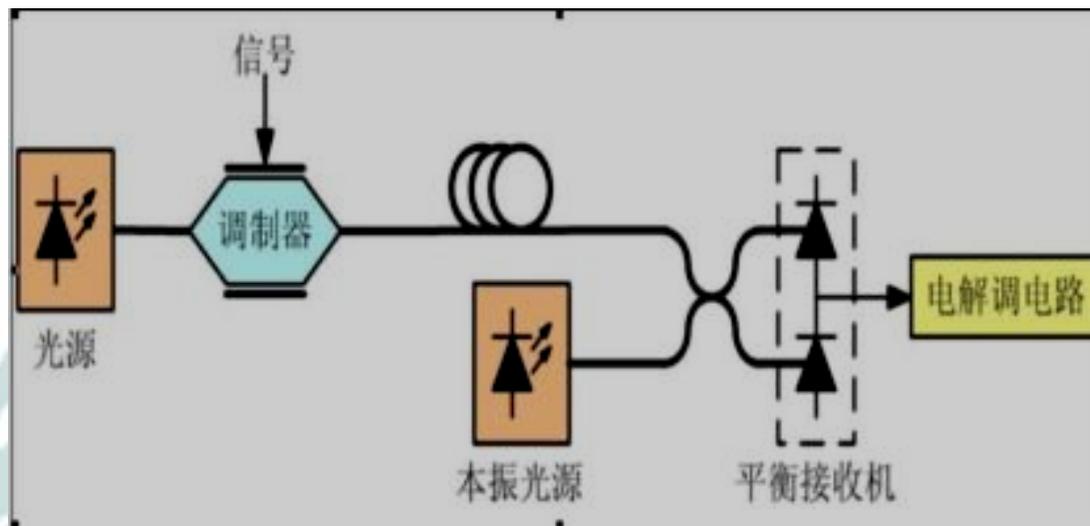
# FEC的类型

- 分组型**FEC**和非分组型**FEC**
- **BCH**码或**RS**码
- 卷积码
- 带内**FEC**和带外**FEC**
- 可以带内、带外同时使用，成为增强型**FEC**
- 采用内外两级**RS**码级联，可以得到**7~9dB**的增益
- **ULH**系统采用**FEC**后，一般都可以实现需要传输的目标距离。

# 采用FEC和不用FEC系统误码性能比较



# 相干接收技术



- 灵敏度提高约**20dB**;
- 选择性好; 频效率高: **9个光子/比特**;
- 适用于多种调制码型: **PSK、DPSK、DQPSK、QAM**等;
- 简化或省掉色散补偿;
- 降低对**OSNR**的要求;
- 已有相应的接收模块;
- 采用相位敏感的编码和传输技术将成为一种趋势。

- 光孤子系统主要由光孤子源、孤子传输光纤、孤子能量补偿放大器与孤子检测接收单元等组成；
- 光孤子技术具有传输容量大、距离长、误码率低、抗噪声能力强等优点；
- 光脉冲占空比、光纤的有效截面、光纤非线性系数、光纤损耗、光纤色散、放大器自发辐射因子、光放大器间距等参数对光孤子系统的性能产生主要影响；
- 采用色散位移光纤（**DSF**）和**EDFA**周期性级联的孤子传输系统是目前最常见的光孤子传输系统基本组成方案；
- 如何延长放大间距，减少放大器数量，减小系统复杂性，降低成本是目前光孤子技术实用化亟待解决的一个问题。

# 光通信技术的继续发展

- 光网络智能化:
  - 基于**SDH**的**ASON**
  - 基于**OTN**的**ASON**——**NG-OTN**
- 分组传送光网络（**PTN**）
  - **PBT**
  - **T-MPLS/MPLS-TP**
- 光交换
  - **WSON**
  - 光突发交换
  - 光分组交换
  - 全光交换
- 光子/量子通信
  - 光子/量子纠缠
  - 光子/量子计算

# 结 语

- 光通信技术的发展不是到头了，而是仍有很大的发展空间；
- 大容量、长距离光传输一直是人们追求的目标；
- 我国与国际光通信技术水平还有很大差距；
- 技术的进步依靠广大同仁的共同努力！

感谢您下载并阅读毛谦先生的演讲稿，针对本演讲内容如您希望与作者本人交流，可先联系：

- 中国光电产业高层论坛办公室
- OFweek光电新闻网编辑部

林先生、于先生

电话:0755-83279360/61/63/65

传真:0755-83279008

Email:market@coeic.cn;editors@ofweek.com

地址:深圳市深南中路北方大厦705室

邮编:518033



**THANKS**  
*Thanks for attention!*