

ZTE中兴

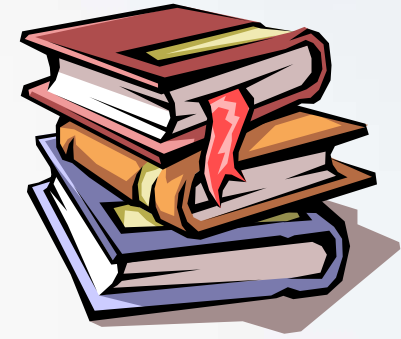
DWDM用户培训

原理及关键技术



ZTE Communications

- 一、DWDM系统概述
- 二、光纤传输特性
- 三、DWDM系统关键技术



- 光源技术
- 光波分复用器和解复用器技术
- 光转发技术
- 掺铒光纤放大器（EDFA）技术
- WDM系统的监控技术

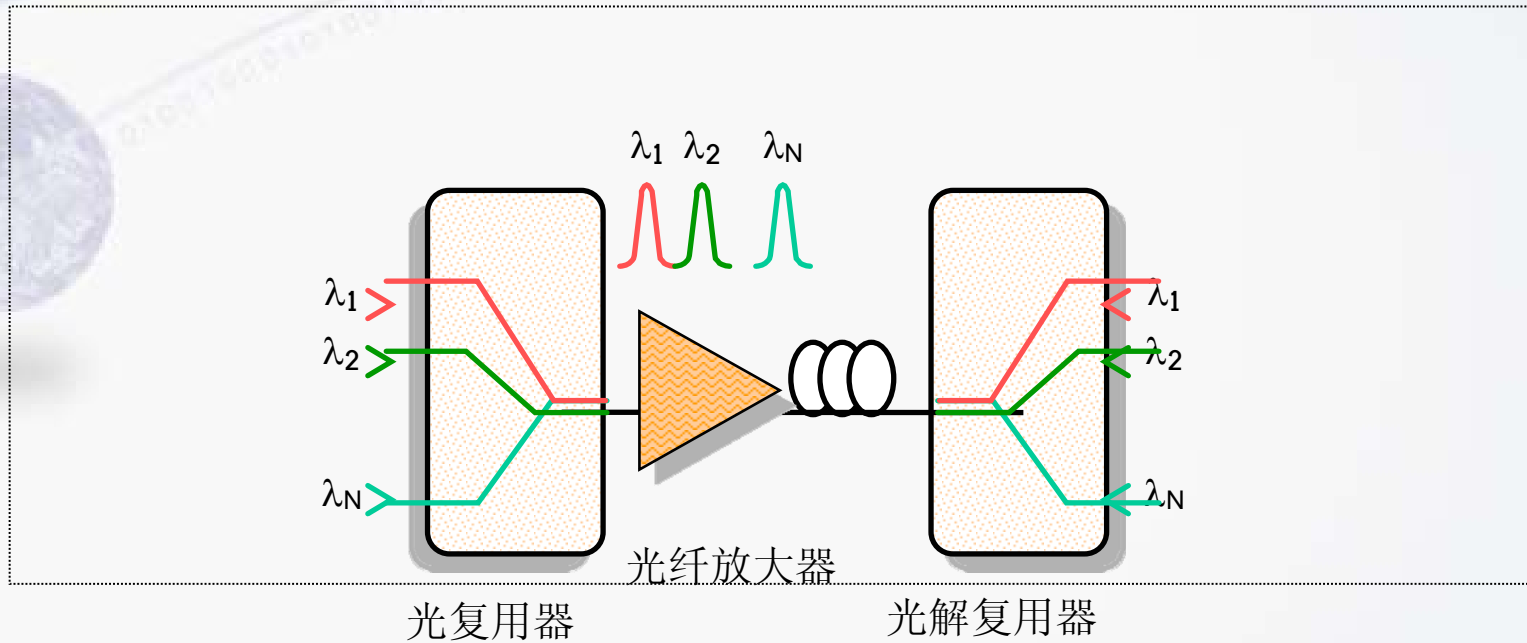
ZTE中兴



一、DWDM系统概述



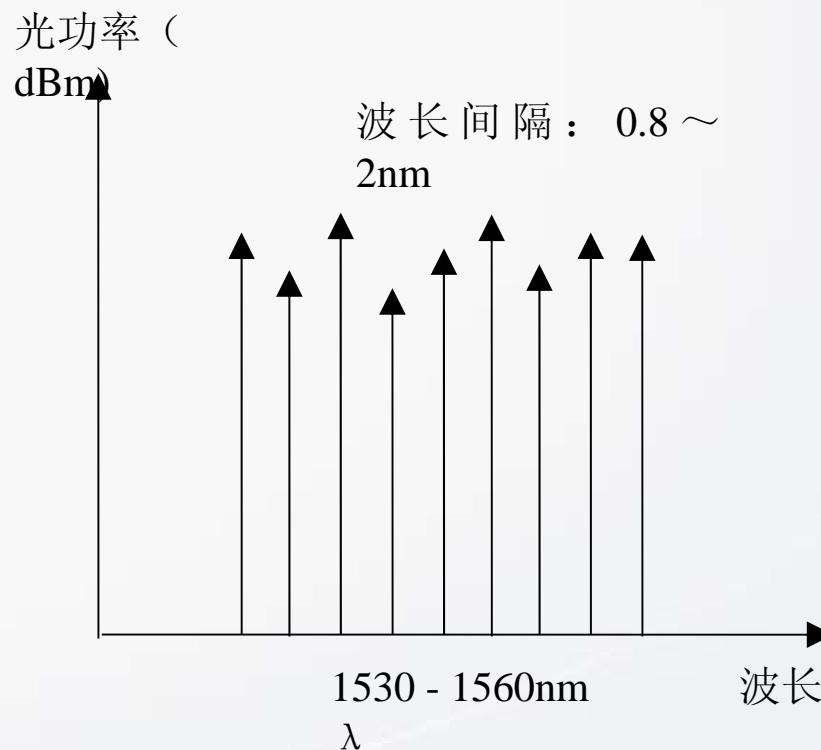
DWDM定义



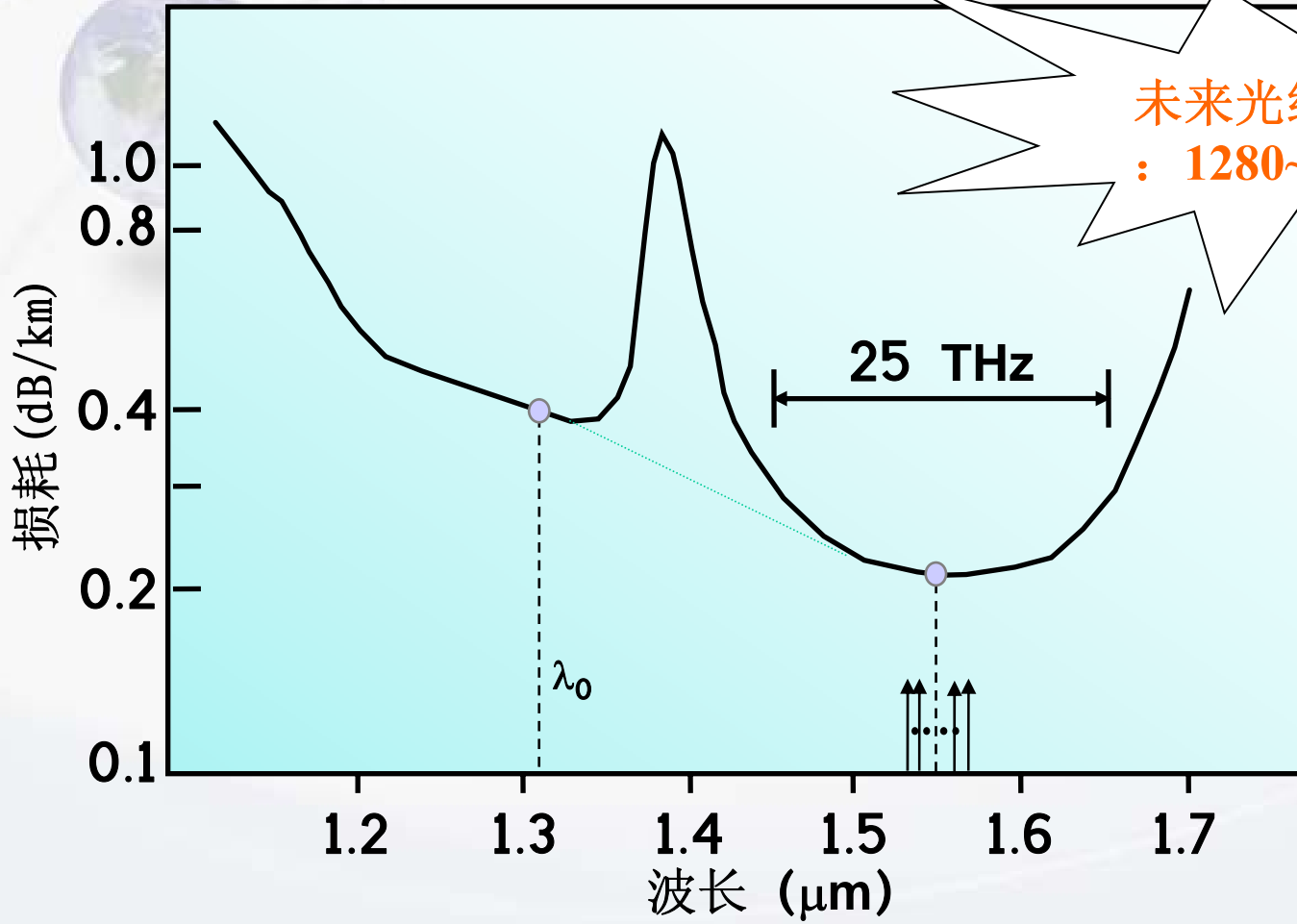
- WDM—将携带不同信息的多个光载波复合到一根光纤中进行传输(早期使用1510/1310两波长系统)
- DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)
在1550nm窗口, 采用更多波长进行波分复用(8,16...)

DWDM的基本概念

DWDM技术是在波长1550nm窗口附近，在EDFA能提供增益的波长范围内，选用密集的但相互又有一定波长间隔的多路光载波，这些光载波各自受不同数字信号的调制，复合在一根光纤上传输，提高了每根光纤的传输容量。



DWDM技术概述



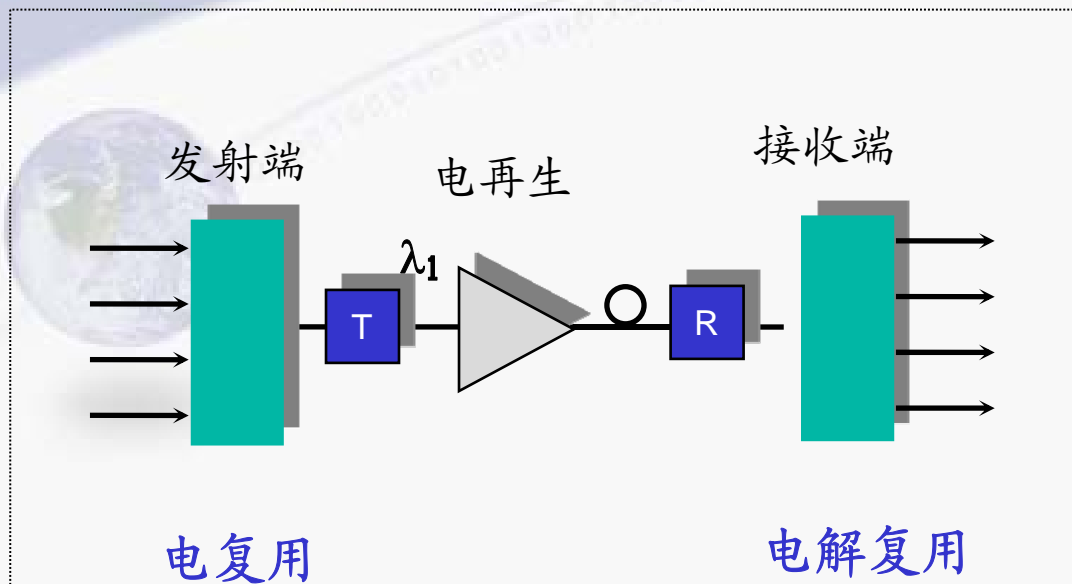
未来光纤通信窗口
: 1280~1625nm

- 目前使用:
C波段: 1525~1565nm
- 正在开发:
L波段: 1570~1620nm
S波段: 1400nm波段

WDM和DWDM的关系

- *DWDM—Dense Wavelength Division Multiplexer*
- 最早的波分复用技术是将1310nm和1550nm的两波分复用，波长间隔为一般数十nm
- 随着1550窗口的EDFA的商业化，新的WDM系统只用1550窗口，这些WDM系统的相邻波长间隔比较窄（ $<1.6\text{nm}$ ），为了区别于传统的WDM系统，称之为密集波分复用系统，即DWDM系统。
- 现在波分复用技术（WDM）通常专指密集波分复用技术（DWDM）。

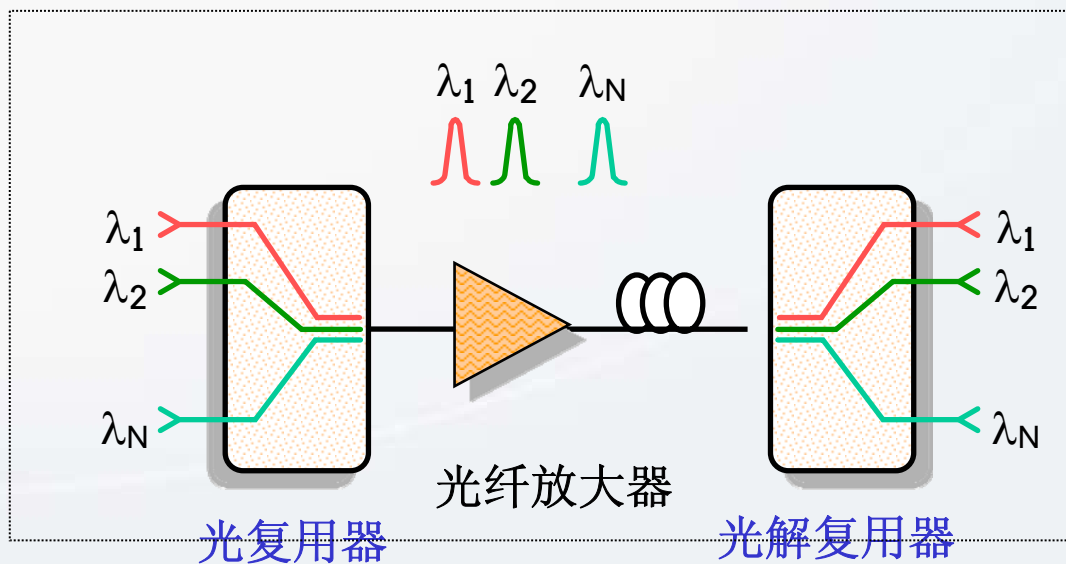
DWDM与TDM的区别



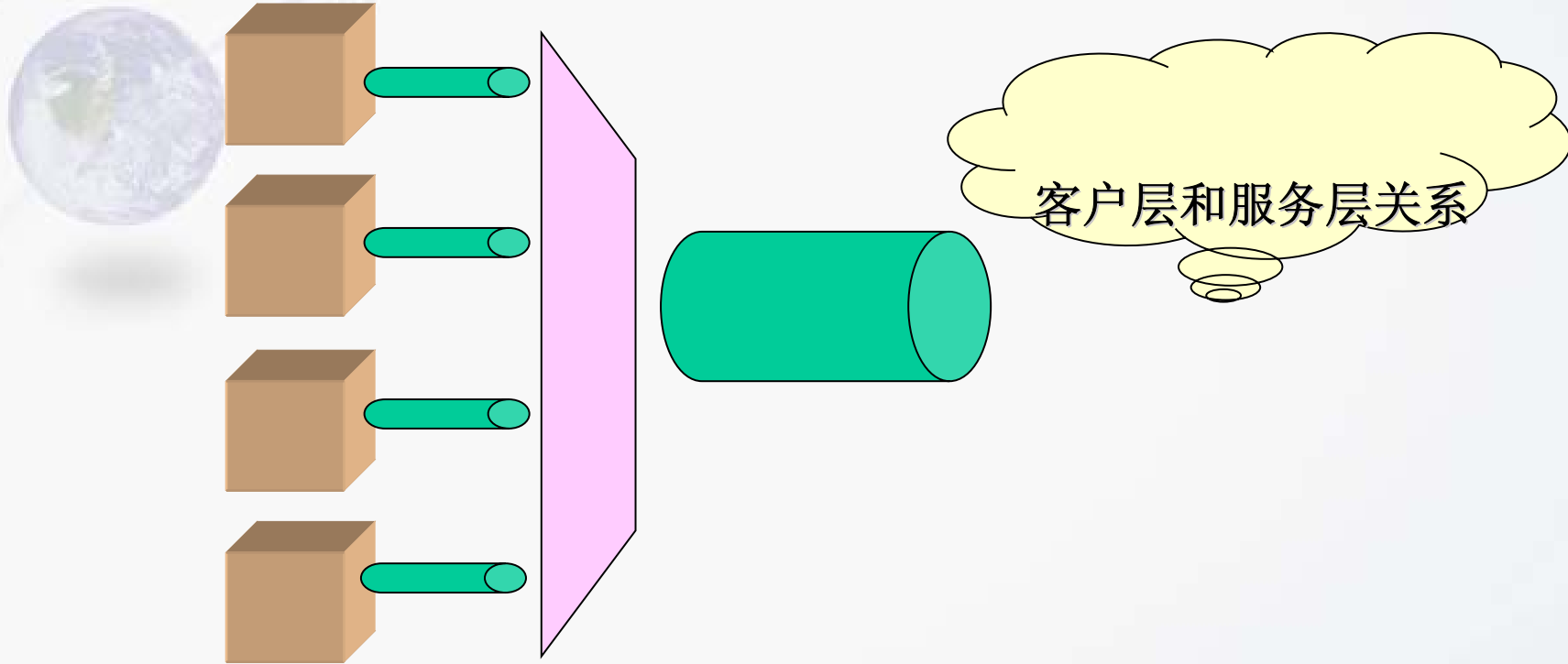
TDM: 单纤单波长
电再生



DWDM: 单纤多波长
全光放大

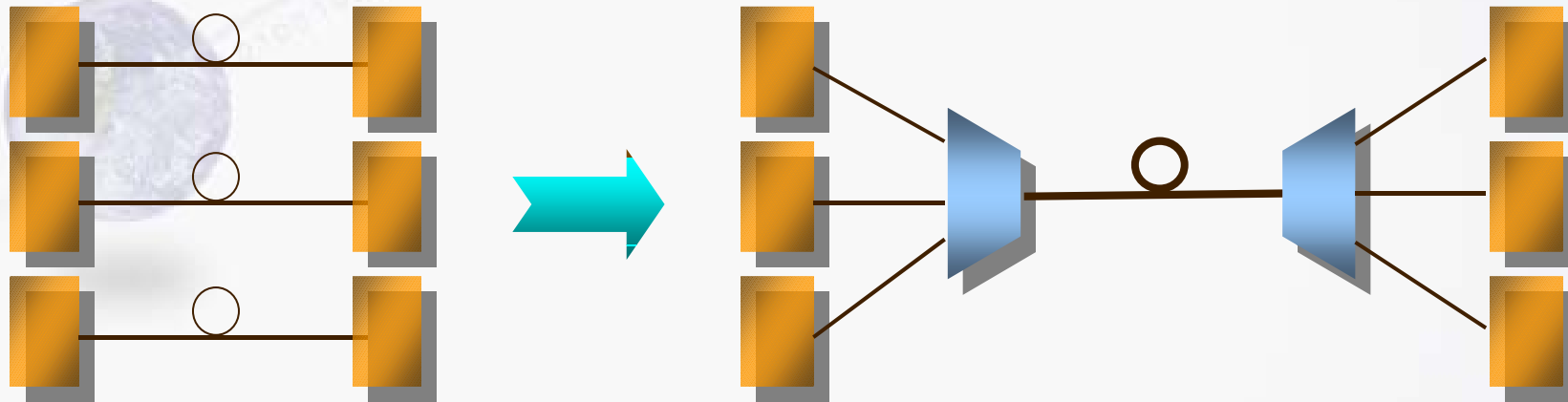


DWDM与SDH的关系



SDH设备 DWDM设备

DWDM的特点之多业务接入能力

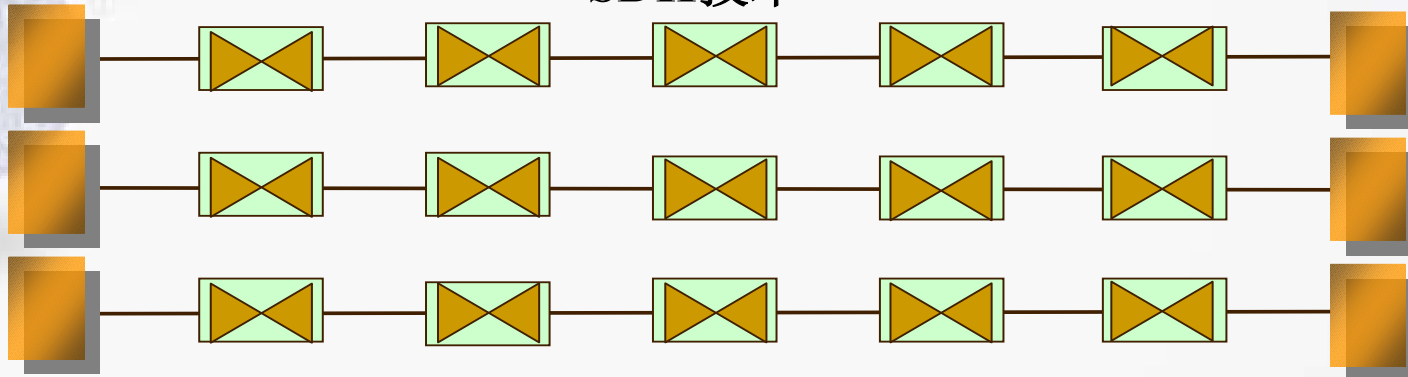


- 多个光信号通过采用不同的波长复用到一根光纤中传输
- 每个波长上承载不同信号：SDH2.5Gb/s、10Gb/s，ATM，IP等

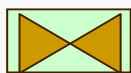
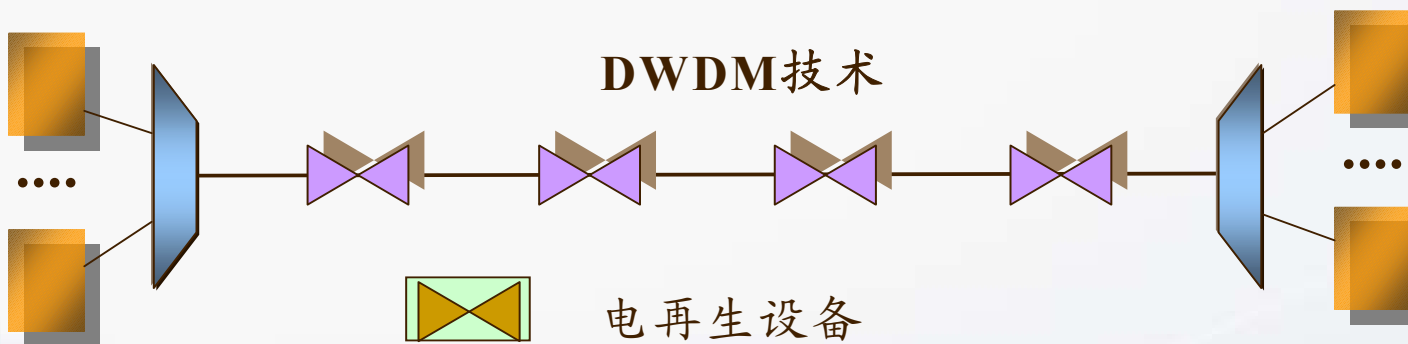
DWDM技术能在一根物理光纤上提供多个虚拟的光纤通道

DWDM特点之降低成本

SDH技术



DWDM技术

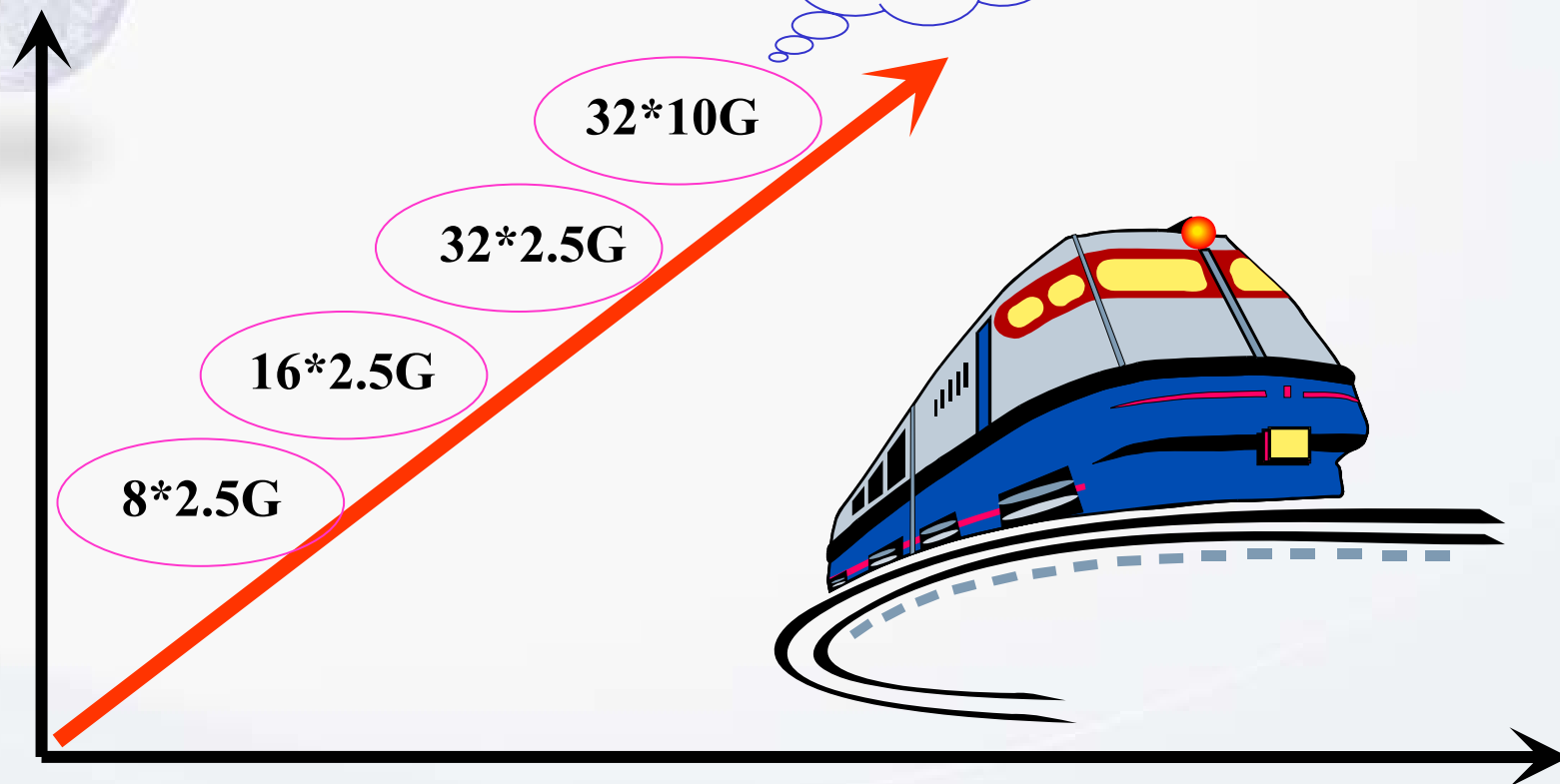


电再生设备



光放大设备

DWDM特点之升级扩容方便



DWDM技术发展概述

- 充分利用光纤的巨大带宽资源，使一根光纤的传输容量很快的扩大几倍至几十倍。
- 使 N 个波长复用起来在单根光纤中传输，对于双纤单向 WDM 系统，单向节约了 $N-1$ 根光纤，双向节约 $2(N-1)$ 根光纤。
- WDM 与光纤放大器结合可以节约大量的电再生器，简化了维护管理，降低了长途网成本。
- 由于同一光纤中传输的信号波长彼此独立，因此可以完成各种电信业务的综合和分离。
- 在长途网中应用时，可以根据实际业务量需要逐步增加波长来扩容，十分经济灵活。
- 利用WDM 选路来实现网络交叉连接和恢复，从而可能实现未来透明的，高度生存性的全光网络。

WDM技术的发展历史

◆ WDM技术在90年代初出现，但在95年以前没有很快发展，原因有三个：

☒ TDM技术的发展：155Mb/s-622 Mb/s-2.5 Gb/s TDM技术相对简单。因此，在2.5Gb/s系统以下，在系统升级时，人们会首先选用TDM技术；

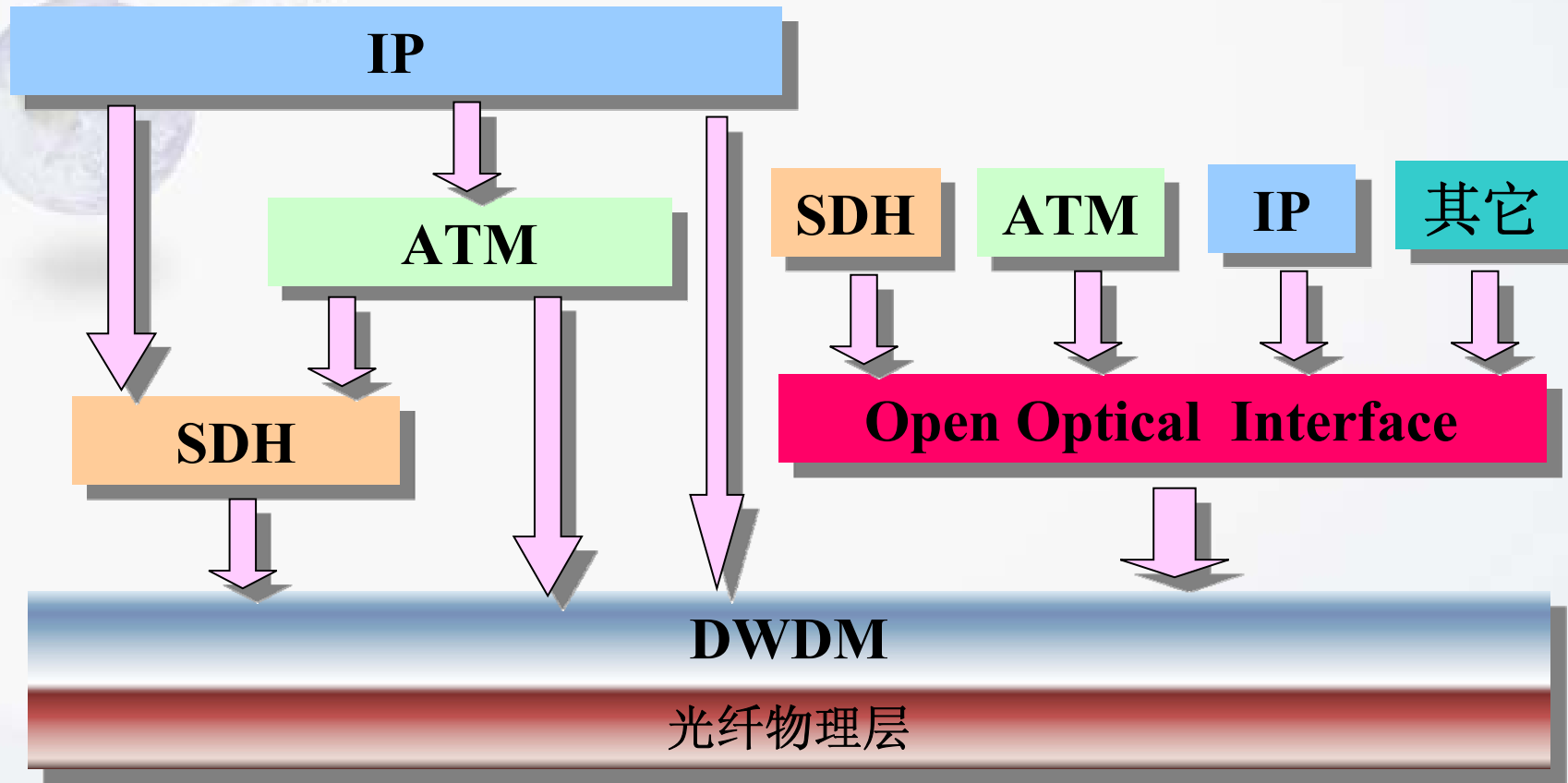
☒ WDM关键器件还没有完全成熟，如波分复用器/解复用器和光放大器；

☒ 应用中对传输容量的需求还不高，TDM设备的容量还能够满足需求。

WDM技术的发展历史

- ◆ 95年以后，WDM技术发展进入快车道，因为：
 - ✉ 各种数据业务的爆炸性发展，对传输容量的需求急剧增加，传输干线的需求目前已达到10Gb/s以上；
 - ✉ TDM技术在10Gb/s以上面临电子元器件的挑战；
 - ✉ 已广泛铺设的G.652光纤在1550nm窗口的高色散限制了TDM高速系统的应用；
 - ✉ 光电器件的成熟和发展，使WDM产品的商用化成为可能。

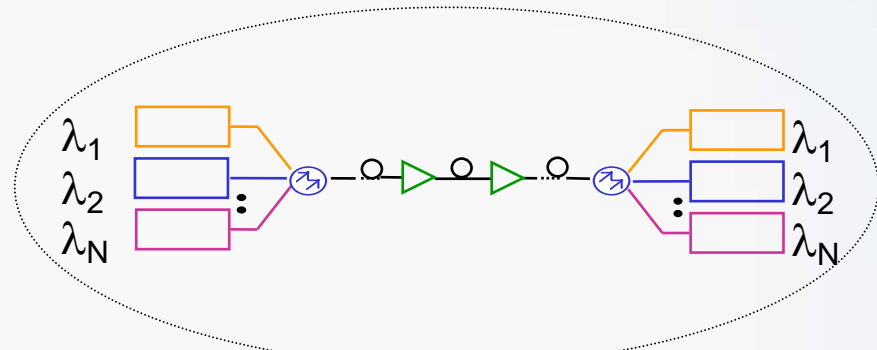
DWDM技术发展趋势



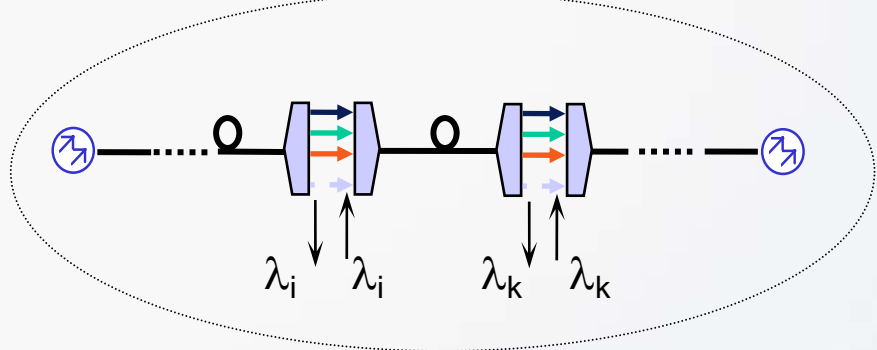
DWDM技术发展趋势



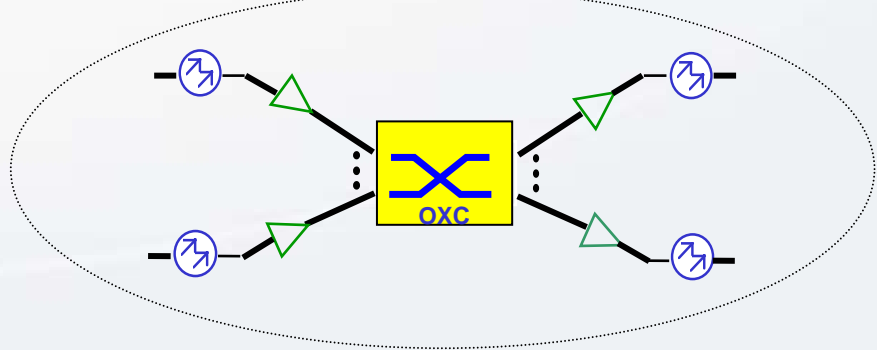
点对点DWDM传输



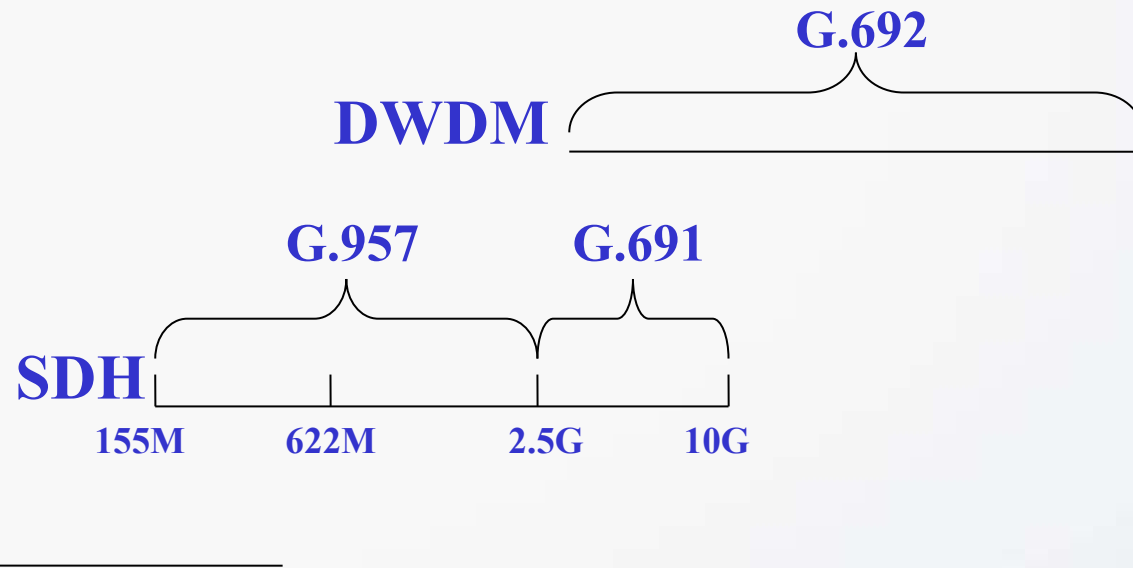
可配置 OADM



可重构OXC



光通信的三个发展阶段





光接口的规范

- G. 957 —— SDH设备和系统的光接口；
- G. 691 —— 带有光放的SDH单信道的速率到达STM-64系统的光接口；
- G. 692 —— 带有光放的多信道系统的光接口。

小结：DWDM系统的特点和优势

- 一纤多波，大容量；
- 透明传输，业务包容性强；
- 经济和节省投资；
- 可与OTN接轨，代表发展方向；
- 系统的技术重点在于光路，它是多波长光信号的模拟传输系统；
- 系统对光纤的依赖性更强。

ZTE中兴



二、光纤传输特性



绝对电平和相对电平

- 在通信中，传输信号的功率非常低，都是毫瓦的数量级。为了表示这种信号功率，设定参考点功率（ P_0 ）以毫瓦计，所表示的分贝单位为dBm。

$$10\lg P/P_0 = p \text{ (dBm)}, P_0 = 1\text{mw}$$

- 光功率衰减以分贝（dB）为测量单位，是指接收功率对发送功率比的对数，没有量纲。

$$\begin{aligned} 10\lg P_1/P_2 &= 10\lg P_1/P_0 - 10\lg P_2/P_0 \\ &= (p_1 - p_2) \text{ dB} \end{aligned}$$

- 单信道功率 $P_i = 5\text{dBm}$

光纤传输技术

光纤的基本知识

- 应用的多为单模光纤，特点是损耗低、带宽大、成本低
- 具有1550nm和1310nm两个低衰减窗口，最小衰减窗口位于1550nm. 1310nm窗口的衰减为0.3~0.4dB/km, 1550nm窗口的衰减为0.19~0.25dB/km
- 理论上，WDM可以利用的单模光纤的带宽可以达到200nm，约为25THz，在波长间隔为0.8nm时，理论上可以开通200多个波长，为WDM的应用和发展提供了广阔的前景

光纤分类

- **G.652**光纤：常规单模光纤，又称色散未位移单模光纤；
（1310性能最佳，0色散，低损耗）
- **G.653**光纤：色散移位光纤；（1550nm性能最佳，0色散，容易引起非线性。）
- **G.655**光纤：非零色散移位单模光纤，该种光纤主要应用于1550nm工作波长区，色散系数较小，色散受限距离达数百公里，并且可以有效减小四波混频的影响。

新的光纤：全波、真波、LEAF、G.654光纤等

新的光纤类型

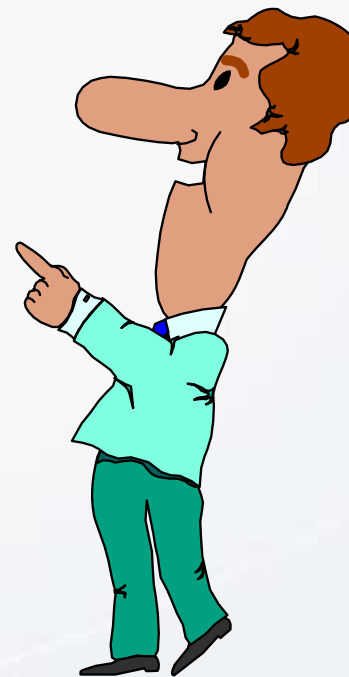
- 全波光纤 — 无水峰光纤，用于城域网；
- 真波光纤（Turewave -LUCENT）— 小色散斜率光纤，即在1550nm波段中色散系数的斜率很小，
 $0.045\text{ps/km}\cdot\text{nm}^2$ ，更适用L波段的开发和利用；
- 大有效纤芯面积光纤（LEAF-CORNING）— 模长直径为 $9.6\mu\text{m}$ ，有效面积为 $72\mu\text{m}^2$ 可以改善非线性；
- G.654光纤 — 损耗 ≤ 0.2 ，一般用于海底光缆。

WDM系统的波长分配

- 根据光纤和EDFA的特性，WDM系统的波长区选为1530nm~1565nm
- 选择193.1THz作为绝对参考频率，稳定度好，精度高
- G.692中允许的通道频率是基于193.1THz、最小间隔为100GHz的频率间隔系列
- 通道的等间隔是在频率上的等间隔，而不是在波长上保持均匀间隔

16通道和8通道WDM系统的中心频率

波长(nm)	中心频率(THz)
1548.51	193.6
1549.32	193.5
1550.12	193.4
1550.92	193.3
1551.72	193.2
1552.52	193.1
1553.33	193.0
1554.13	192.9
1554.93	192.8
1555.75	192.7
1556.55	192.6
1557.36	192.5
1558.17	192.4
1558.98	192.3
1559.79	192.2
1560.61	192.1



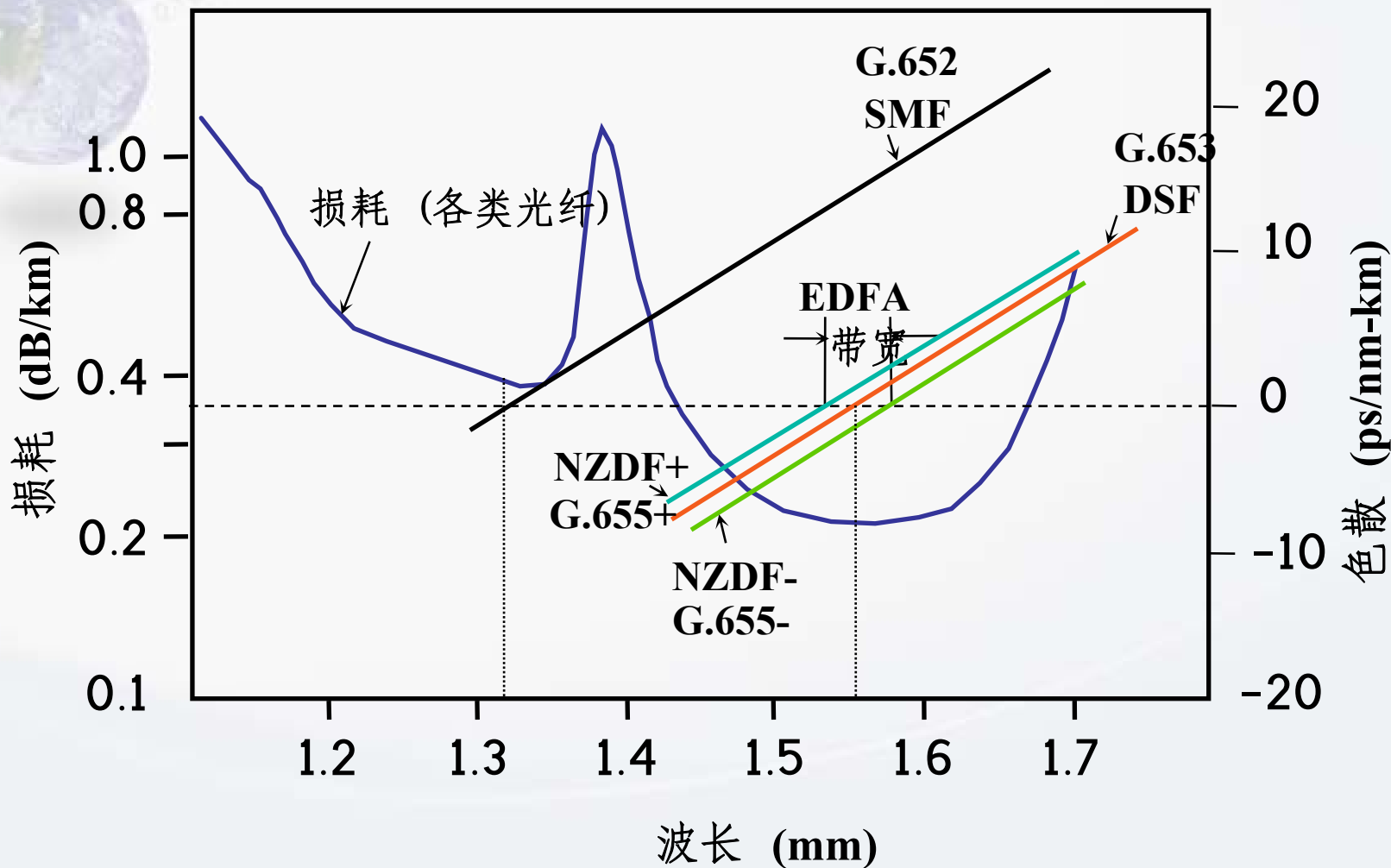
DWDM系统的通道间隔

波长间隔 (nm)	1.6	0.8	0.4	0.2
频率间隔 (GHz)	200	100	50	25
中心频率允许偏差 (GHz)	±40	±20	待 定	

光纤传输特性

- 1、衰减
- 2、色散 （色度色散、偏振膜色散）
- 3、非线性

光纤类型和损耗谱



光纤损耗

OSNR: 光信噪比, 是描述系统低误码运行能力的主要参数

$$\text{OSNR} = P_{\text{out}} / P_{\text{ase}}$$

$$\text{OSNR} = P_{\text{out}}(\lambda_i) + 58.03 - \text{NF} - 10\log(M) - 10\log(G1 + \Sigma\text{loss})$$

* 系统总长度一定时, 低增益、多级数比高增益、少级数方案有高得多的OSNR。

若系统总损耗为90dB, 采用3 × 33dB方案比9 × 10dB方案的输出端噪声功率高的多。



OSNR的限值：

$\text{OSNR} > 20 \text{ dB}$, $B = 2.5 \text{ Gb/s}$

$\text{OSNR} > 25 \text{ dB}$, $B = 10 \text{ Gb/s}$

损耗起因（一）

吸收损耗：光波通过光纤材料时，一部分光能变成热能，造成光功率的损失。

- **本征吸收：**是光纤基础材料(如 SiO_2)固有的吸收，不是杂质或缺陷引起的，因此，本征吸收基本确定了某一种材料吸收损耗的下限。
- **杂质吸收：**由光纤材料的不纯净而造成的附加吸收损耗。

损耗起因（二）

散射损耗： 由于光纤的材料、形状、折射率分布等的缺陷或不均匀，使光纤中传导的光发生散射，由此产生的损耗。

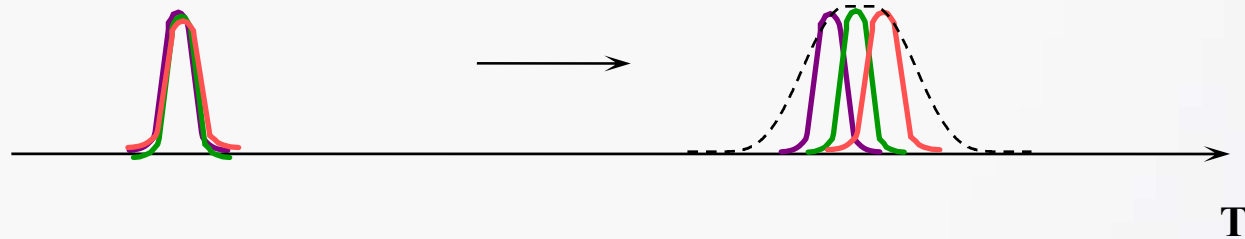
散射： 指光通过密度或折射率等不均匀的物质时，除了在光的传播方向以外，在其他方向也可以看到光，这种现象叫光的散射。

损耗起因

损耗	本征	非本征
吸收	紫外吸收	金属离子
	红外吸收	OH离子、H ₂
散射	瑞利散射	波导缺陷
	米氏散射	
	受激布里渊散射	
	受激拉曼散射	

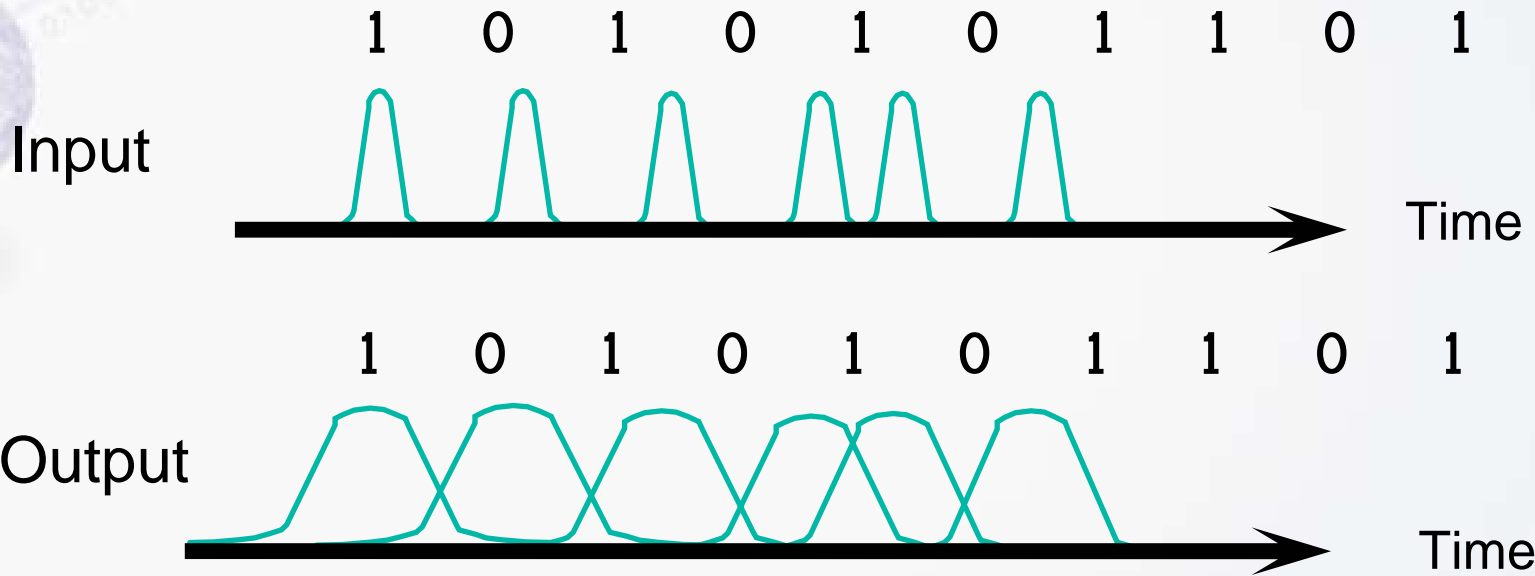
光纤色散 (色度色散)

脉冲展宽



光脉冲信号中的不同频谱成份在光纤中的传输速度不同，导致脉冲信号传输后展宽甚至离散。

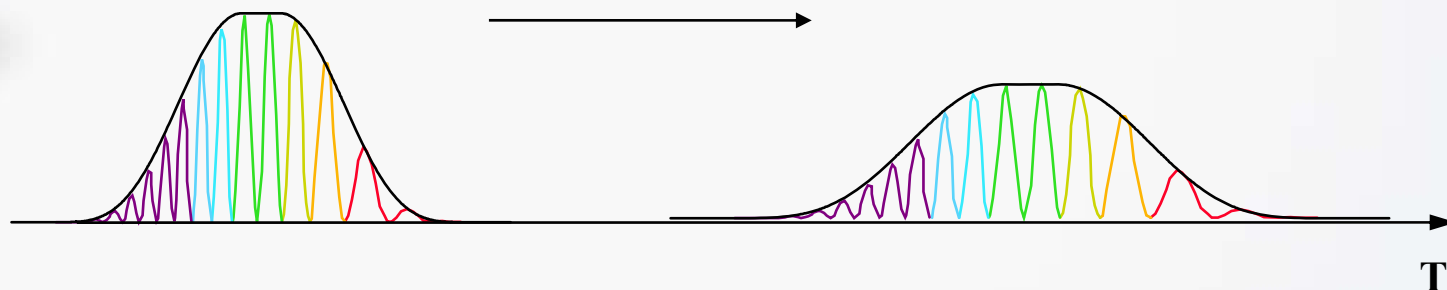
◆ 光纤色散效应对传输的影响



脉冲展宽 $\Delta\tau(\text{ps}) = D(\text{ps}/\text{nm}\cdot\text{km}) * S(\text{nm}) * L(\text{km})$

脉冲展宽 $\geq 1/4$ 比特周期时会引起误码

啁啾效应



直接调制激光器输出信号带有较大的啁啾，使得脉冲频谱展宽并在前后沿产生频谱红移和蓝移，在光纤色散的作用下，引起脉冲的快速展宽和信号劣化。

色散容限

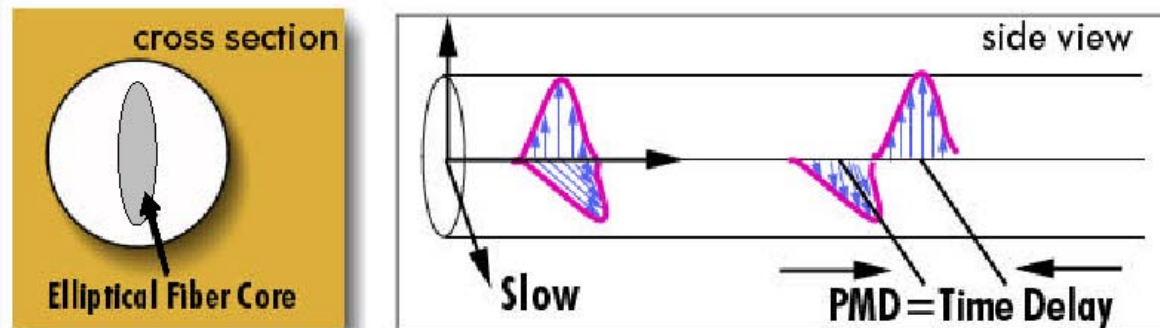
光源啁啾对系统传输距离的影响由色散容限参数值 (D_s) 表示。

如: 光源色散容限值 $D_s=12800\text{ps/nm}$, SMF (G. 652) 光纤的色散参量值取 $D=20\text{ps/km/nm}$, 则该光源的色散受限距离为 640 km。

偏振模色散PMD

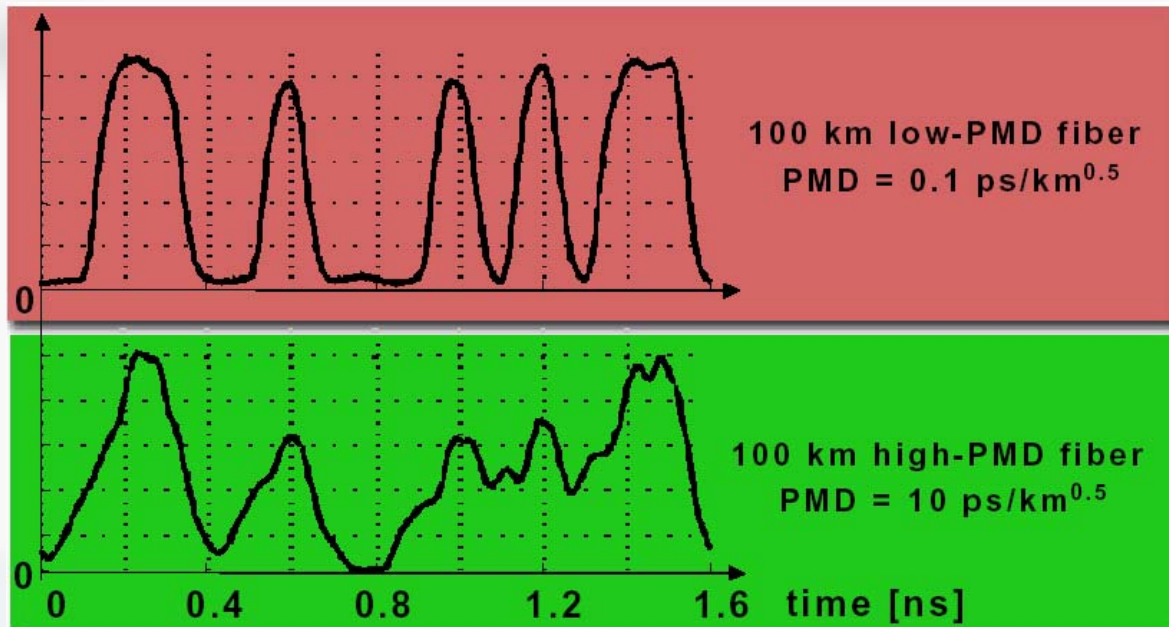
- 光纤中的光传输可描述成完全是沿X轴振动和完全是沿Y轴振动或一些光在两轴上的振动。
- 每个轴代表一个偏振“模”
- 两个偏振模的到达时间差——偏振模色散PMD

光纤PMD



环境因素和工艺缺陷引起的纤芯椭圆及应力是引起PMD的主要因素

光纤PMD



PMD引起脉冲展宽（随机性）

PMD产生机理及解决方法

- 由光纤的双折射引起, 诸如应力、弯曲、扭绞、温度等随机引入
- 产生信号间干扰;
- 当偏振相关损耗产生的二次效应可能产生PMD与色度色散之间的耦合从而增加色散的统计分量;
- 解决办法之一是改进光纤工艺或在系统输入输出端插入偏振控制器。

光纤非线性效应

- 受激拉曼散射 (SRS)
- 受激布里渊散射 (SBS)
- 自相位调制 (SPM)
- 交叉相位调制 (XPM)
- 四波混频 (FWM)

(1) 受激拉曼散射 (SRS)

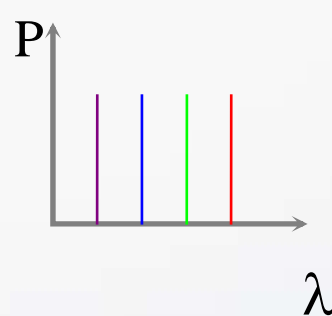
短波长泵浦长波长



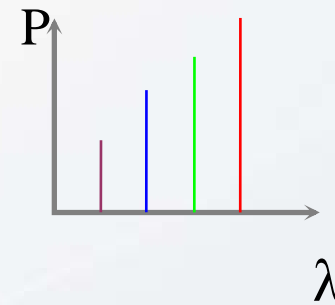
对系统的影响:

引起信道功率失衡

引起信道间的拉曼串扰



输入



输出

(2) 受激布里渊散射 (SBS)

- 是一种当达到门限功率水平时，信号产生向信号相反方向传播的受激发射的非线性现象
- 增益比SRS大两个数量级
- 当光源谱功率（亮度）大时，SBS占主导地位



对系统的影响:

大于一定值时，引起强烈背向散射，叠加强度噪声。



(3) 自相位调制 (SPM)

相位随光强而变化，转化为波形畸变

SPM的影响随该通道注入光纤的光功率增大而增大，随光纤及传输段而积累。

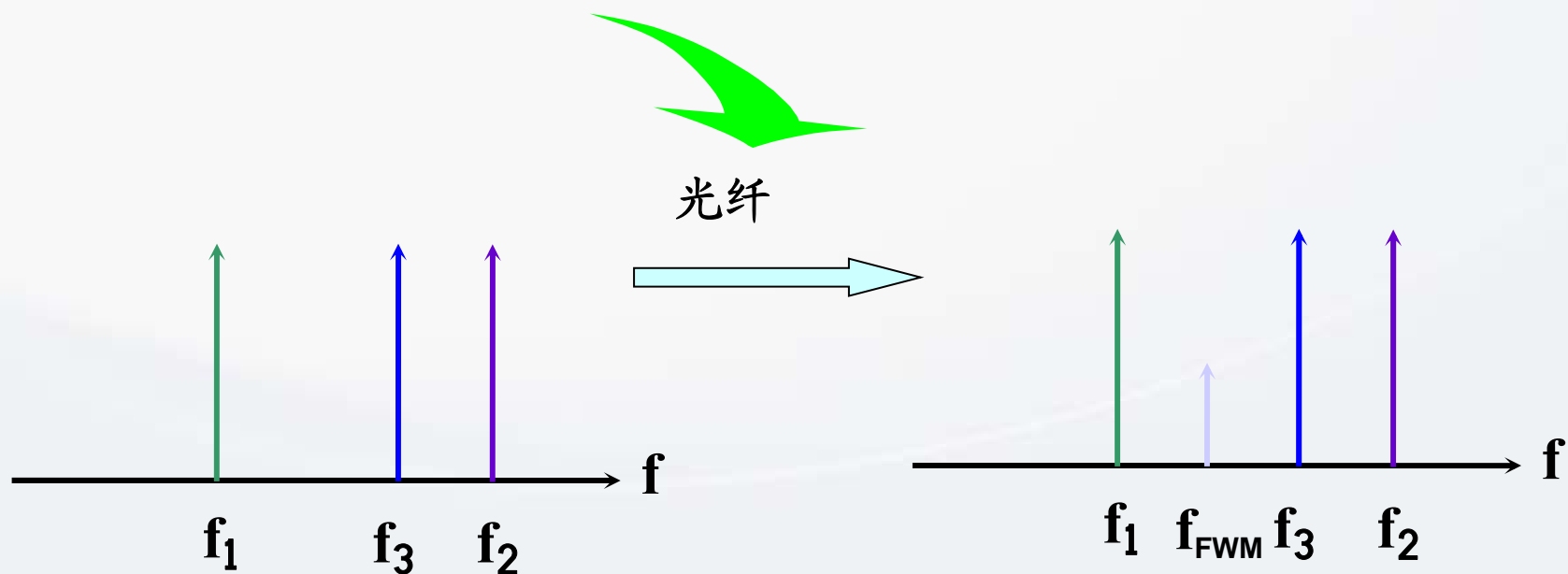
(4) 交叉相位调制 (XPM)

相位受到其它其它信道的调制，经光纤色散转化引起强度噪声

(5) 四波混频 (FWM)

信道间相互作用产生新的频率，

相关参数有信道数、信道间隔、信道功率、光纤色散、折射率、光纤长度、材料的高阶偏振特性等。



四波混频 (FWM)

FWM是影响系统性能的主要非线性效应:

当FWM产生的新频率落入信道带宽范围内时,会引起信道强度起伏和信道间串扰。



补偿措施:

- *采用非零色散位移光纤 (G. 655) 和常规单模光纤 (G. 652)
- *采用大有效纤芯面积光纤 (LEAF)
- *控制入纤功率

光纤非线性效应的抑制

入纤功率是影响光纤非线性效应的决定参数



限定入纤光功率在一定范围内，能有效控制非线性效应的影响。

另外信道间效应可通过限制光通道间隔和光谱范围的方式得到一定程度的缓解。

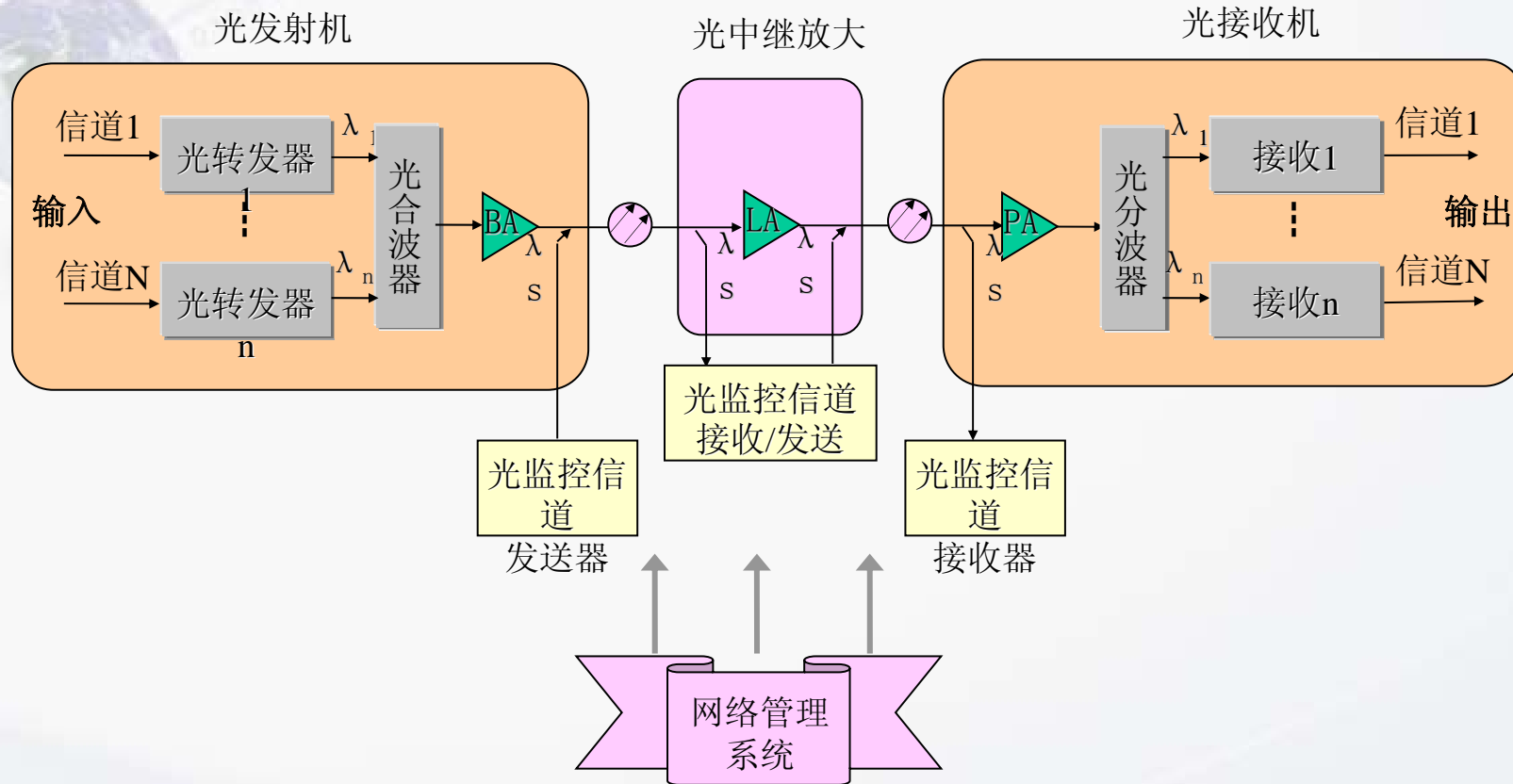
ZTE中兴



■ DWDM系统关键技术



DWDM系统基本结构



WDM系统关键技术

— 若干关键技术的提出

— 光源技术

— 光波分复用器和解复用器技术

— 光转发技术

— 掺铒光纤放大器（EDFA）技术

— WDM系统的监控技术

— 若干关键技术的提出

— 光源技术

— 光波分复用器和解复用器技术

— 光转发技术

— 掺铒光纤放大器（EDFA）技术

— WDM系统的监控技术

光源 (激光器)

主要参数:

*波长稳定性

*色散容限

类型:

*直接调制

*EA调制

*马赫-策恩德 (M-Z) 调制

*电折射调制

光源技术主要需要解决两大问题：

- 波长稳定问题

- 要求在寿命终了时波长的漂移： $<20\text{GHz}$ (约 0.16nm)

- 色散容限问题

- G.652光纤，在 1550nm 窗口，色散系数一般取值为
 20ps/km.nm

- 对于 360km 、 500km 、 640km 的标准配置，色散容限值分别为
 7200ps/nm 、 10000ps/nm 、 12800ps/nm

波长稳定问题的解决办法：

- 精密的管芯温度控制技术

原理：温度是影响激光器输出波长稳定性的最主要原因，通过精密自动温度控制电路（ATC），保持激光器管芯的温度恒定。

优点：比较容易实现，能够满足通常的要求

缺点：不能解决由于激光器老化引起的波长漂移。

- 波长反馈控制技术

原理：波长敏感器件的输出电压随激光器输出波长而变动，通过此电压来直接或间接控制激光器的工作电流，使输出波长稳定。

优点：能够达到很高的精度

缺点：实现起来比较复杂，成本较高。

提高光源色散容限的方法：

- 外调制技术

原理：对于直接调制，单纵模激光器引起的啁啾是限制其色散容限 主要因素。

在外调制情况下，高速电信号不直接调制激光器，而是加在某 一介质上，利用该介质的物理特性使通过的激光器信号的光波 特性发生变化，从而建立电信号和激光的调制关系

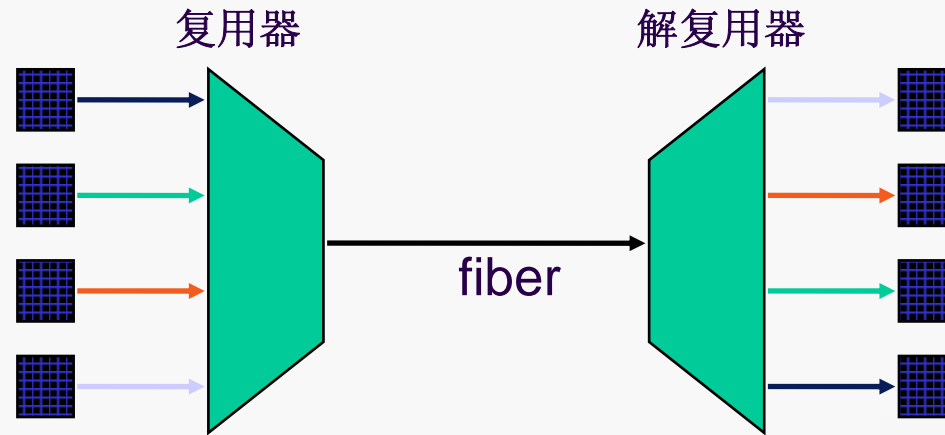
优点：很低的啁啾，可以获得远大于直接调制的色散受限距离

目前实用化的外调制激光器的种类：

- **EA调制** 电吸收激光器（EML激光器）
 - 优点：色散容限好；体积小，集成度好，驱动电压低，功率小；
 - 缺点：啁啾系数较大；
 - 应用：目前，大部分公司的WDM产品都采用EML激光器。
- **马赫-策恩德 (M-Z) 调制** 波导型铌酸锂调制器
 - 优点：调制速率极高，色散受限距离长；调制线宽很窄，消光比高；
 - 缺点：与偏振态有关，激光器和调制器之间的连接必须使用保偏光纤；
 - 应用：主要应用在10Gb/s以上的高速DWDM系统中

- 若干关键技术的提出
 - 光源技术
 - 光波分复用器和解复用器技术
 - 光转发技术
 - 掺铒光纤放大器（EDFA）技术
 - 光纤传输技术
 - WDM系统的监控技术

光波分复用器和解复用器技术



光波分解复用技术主要包括：

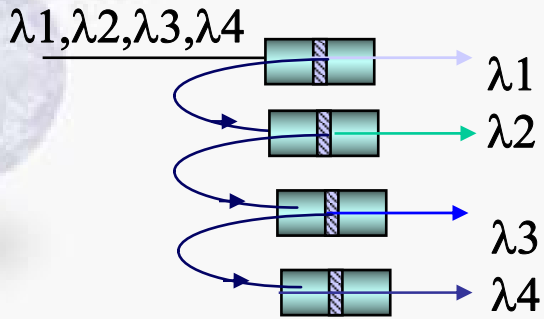
- 阵列波导技术、衍射光栅技术、干涉薄膜技术和光纤光栅技术等
- 光波分复用技术还包括耦合器技术。

光波分复用器和解复用器技术

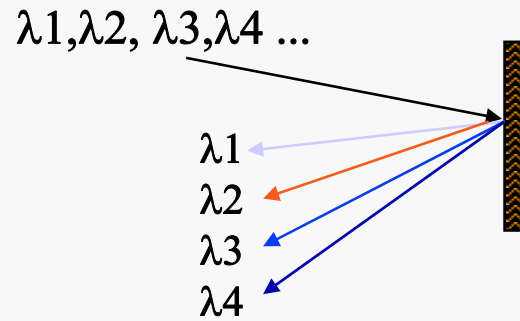
👉 主要技术参数要求

- * 插入损耗低
- * 通道带宽宽
- * 各信道间的串扰小，即隔离度高
- * 偏振相关性小
- * 波长的温度稳定性好

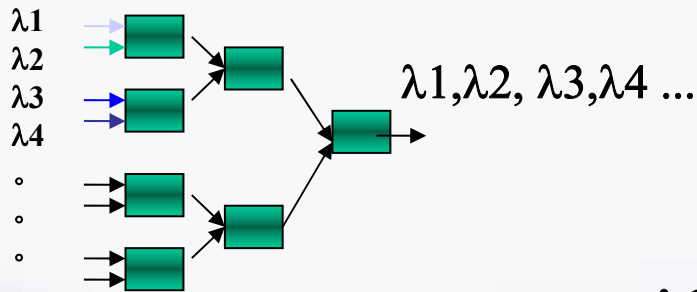
DWDM复用和解复用器



介质薄膜滤波器型



衍射光栅型



耦合器型



阵列波导光栅型

光波分复用器和解复用器技术

复用器/解复用器类型

- 1) 光栅型
- 2) 介质薄膜滤波器型 (DTF)
- 3) 耦合器型 (熔锥型) (AWG)
- 4) 阵列波导光栅型

光波分复用器和解复用器技术

👉 光栅型复用器/解复用器的原理及特点

1) 原理

属于角色散型器件，当光到光栅上后，由于光栅的角色散作用，使不同的光信号以不同的角度出射，然后经过透镜会聚到不同的输出光纤，从而完成波长选择和分离的作用，反之就可以实现波长的合并。

2) 优点

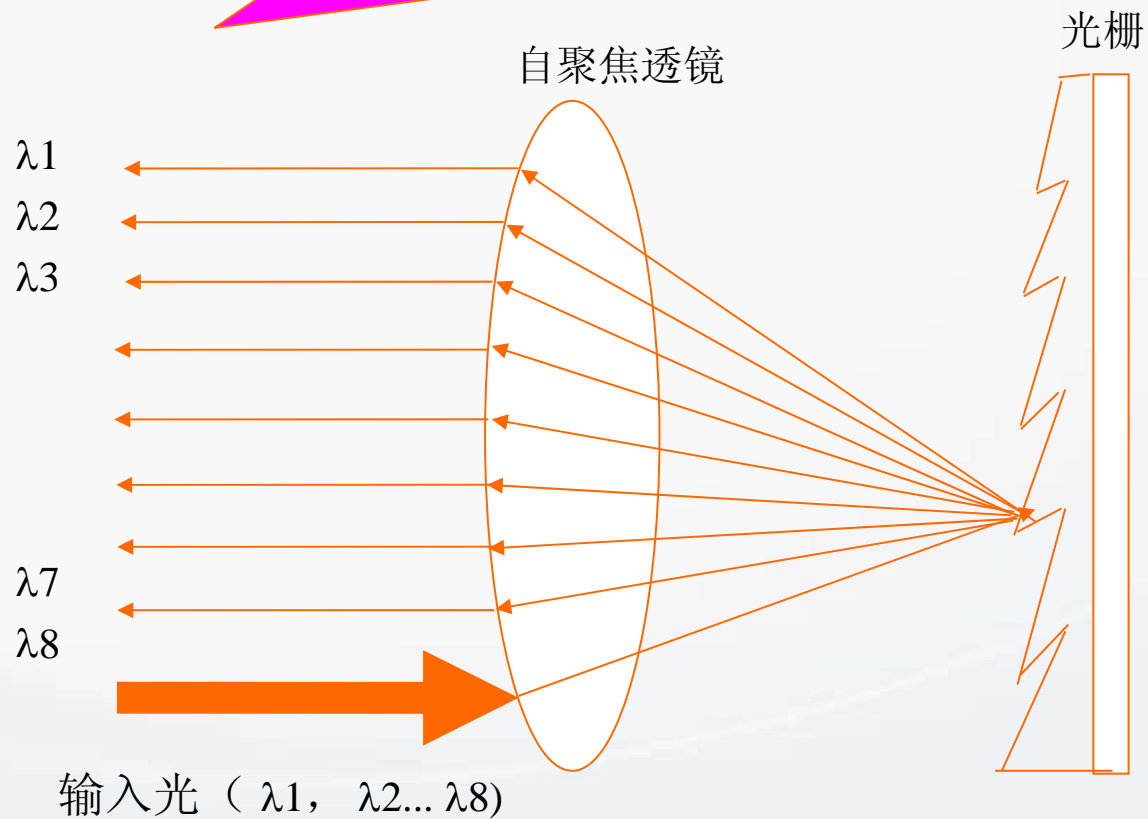
- 波长选择特性优良，可以使波长间隔小到**0.5nm**左右
- 并联工作，插入损耗不会随复用信道的数目增加而增加

3) 缺点

- 温度稳定性不好

光波分复用器和解复用器技术

光栅型解复用器的原理示意图



光波分复用器和解复用器技术

👉 介质薄膜滤波器型复用器/解复用器的原理及特点

1) 原理

利用几十层不同的介质薄膜组合起来，组成具有特定波长选择特性的干涉滤波器，就可以实现将不同的波长分离或合并

2) 优点

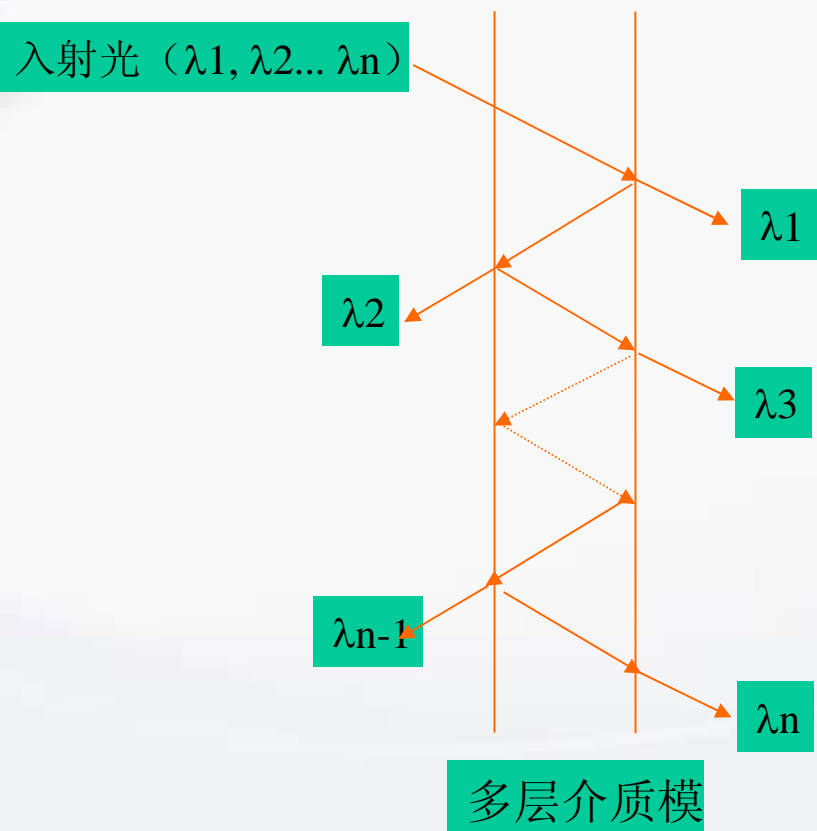
- 与光纤参数无关，可以实现结构稳定的小型化器件
- 信号通带比较平坦
- 插入损耗较低
- 温度特性很好

3) 缺点

- 加工复杂。但目前的工艺已经比较成熟
- 通路数不能太多。

光波分复用器和解复用器技术

介质薄膜分波器功能框图



光波分复用器和解复用器技术



耦合器型复用器原理及特点

1) 原理

通过将多根光纤熔融在一起，使多个输入波长可以耦合在一起，达到波长合并的目的，但不能用来将不同波长进行分离。

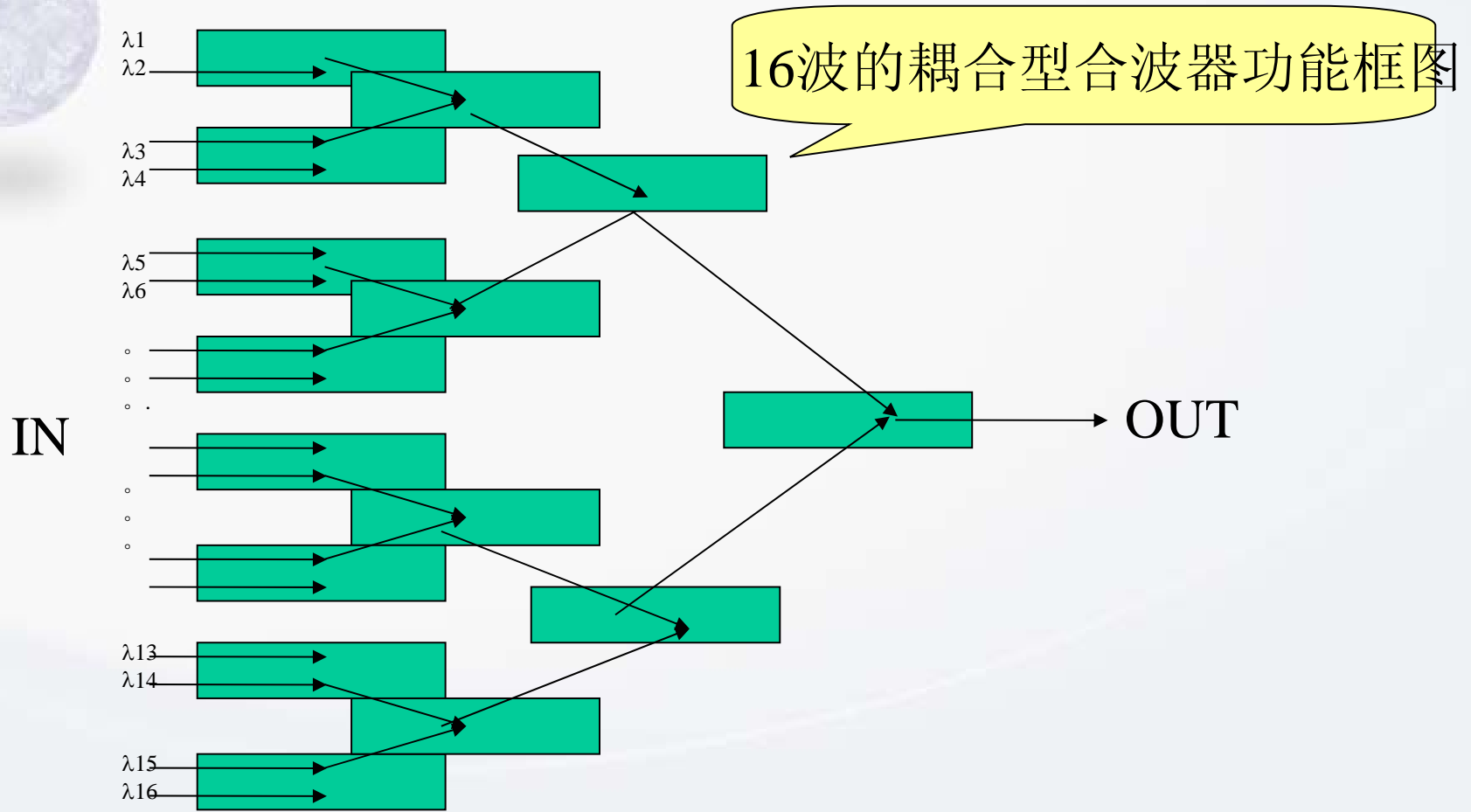
2) 优点

- 温度特性很好
- 光通道带宽较好
- 制造简单，易于批量生产

3) 缺点

- 尺寸较大，信道隔离度差，复用的波长数少

光波分复用器和解复用器技术



光波分复用器和解复用器技术

☞ 集成光波导型合波器/分波器的原理及特点

1) 原理

是以光集成技术为基础的平面波导型器件。

2) 优点

- 并联工作，可以复用的通道数多
- 尺寸小
- 易于批量生产

3) 缺点

- 需要温度补偿，使用起来比较麻烦

光波分复用器和解复用器技术

👉 目前8~16路WDM系统中合波器应用最多的是耦合器型

- * 优点：简单、便宜、通道间隔离度好
- * 缺点：插入损耗大，但可以通过EDFA来补偿功率的损失

👉 目前8~16路WDM系统中分波器多采用干涉薄膜滤波器型

- * 优点：通道间隔离度好、温度稳定性好
- * 缺点：价格较高

WDM系统关键技术

- 若干关键技术的提出
 - 光源技术
 - 光波分复用器和解复用器技术
 - 光转发技术
 - 掺铒光纤放大器（EDFA）技术
 - WDM系统的监控技术

OTU的作用和分类

OTU的作用：波长转换

电脉冲再生（3R）

检测B1、J0字节

FEC前向纠错

OTU的分类：OTU和OTUR

2.5G OTU 、 10G OTU、多业务OTU

OTU With FEC & No FEC

👉 为何需要OTU?

DWDM 系统对于输入光源有特殊要求!

- **频率要求**

G.692中允许的WDM的通道频率是基于193.1THz，最小间隔是50G/100G的频率间隔系列

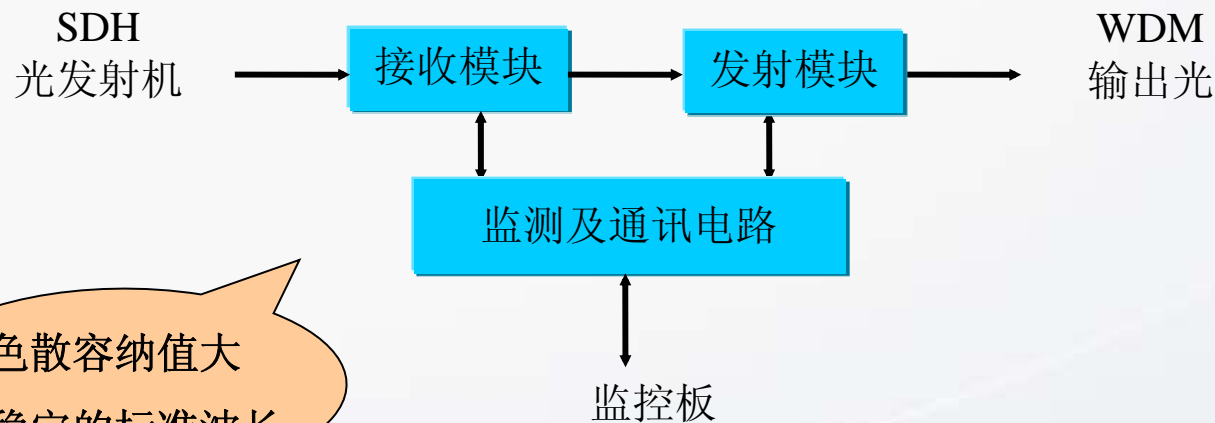
- **色散容限要求**

WDM系统的电再生间距可达640Km，而SDH系统的电再生间距仅50~60Km，因此WDM对于光源的色散容限要求要远大于SDH对光源的要求

光转发技术

OTU原理

采用光—电—光变换的方法实现波长转换，首先利用光电探测器将从SDH光端机过来的光信号转换成电信号，经过限幅放大、时钟提取/数据再生后，再将电信号调制到激光器或外调制器上。



- 1、色散容纳值大
- 2、稳定的标准波长

光转发技术

👉 与OTU相关的主要技术参数

- 色散容限
- 接收灵敏度
定义：在满足一定误码率条件下的最小入射光功率
- 过载功率
定义：在满足一定误码率条件下的最大入射光功率
- 中心频率偏移
定义：实际中心频率与标称中心频率的偏移

光转发技术

👉 WDM系统中OTU的种类

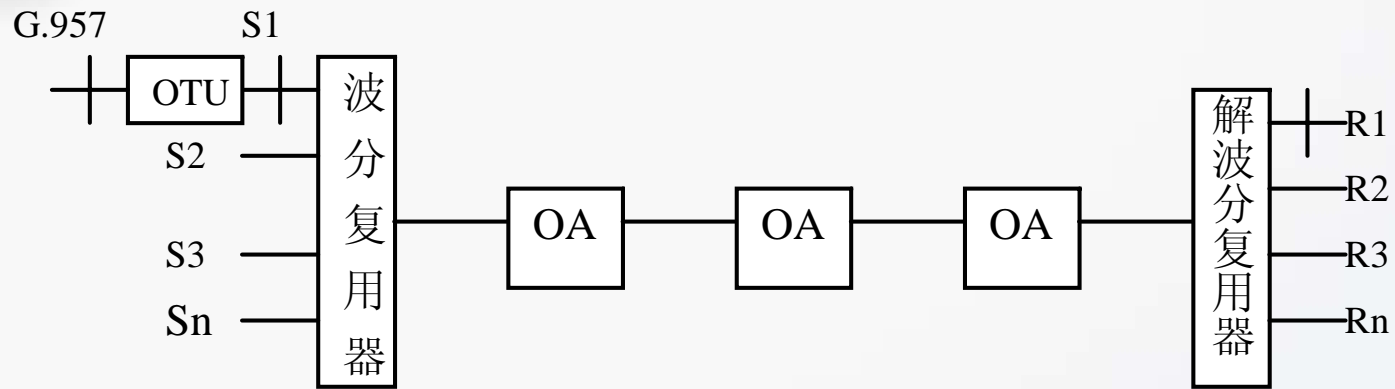
根据在WDM系统中位置不同而分为:

- 发送端OTU
- 作为再生中继器的OTU
- 接收端的OTU

光转发技术



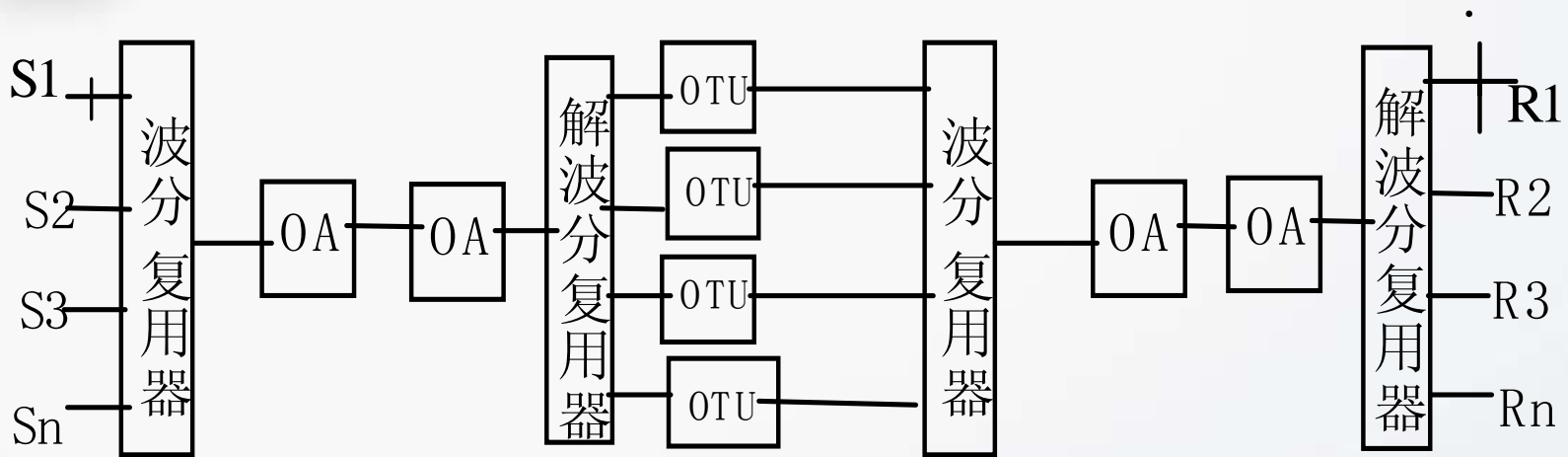
👉 发送端OTU



光转发技术



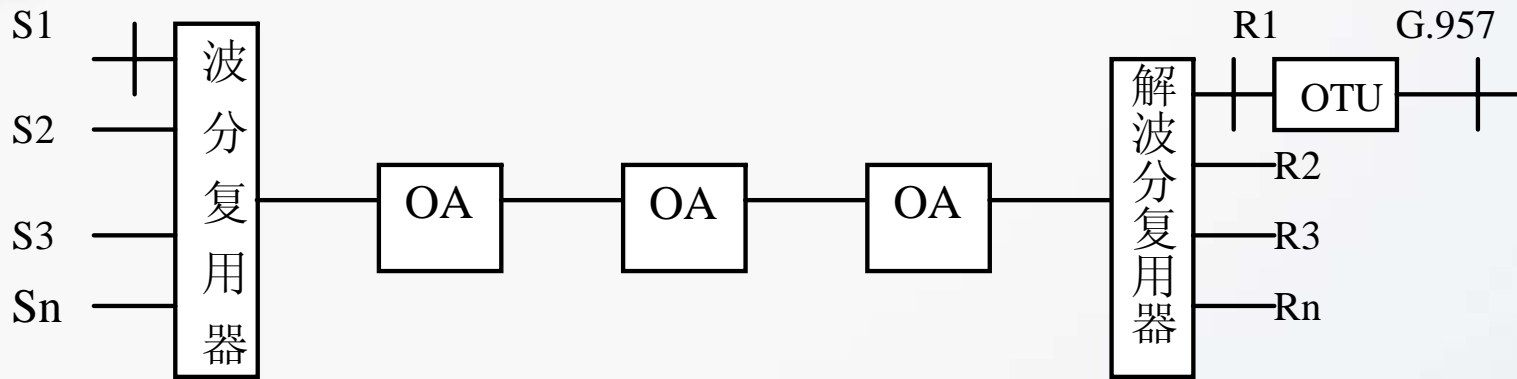
👉 再生中继器OTU



光转发技术



👉 接收端OTU



光转发技术

👉 WDM系统中OTU的种类

根据在色散容限不同而分为:

- **OTUD(短距) : $D_s=1800\text{ps/nm}$: $< 90\text{km}$**
- **OTUEM (中距) : $D_s=7200\text{ps/nm}$: $90\text{km}-360\text{km}$**
- **OTUEL (长距) : $D_s=12800\text{ps/nm}$: $360\text{km}-640\text{km}$**

WDM系统关键技术

- 若干关键技术的提出
 - 光源技术
 - 光波分复用器和解复用器技术
 - 光转发技术
 - 掺铒光纤放大器（EDFA）技术
 - WDM系统的监控技术

掺铒光纤放大器 (EDFA) 技术

- ☞ 传统的再生方式采用光/电/光的3R技术将微弱信号整形放大。
- ☞ 光放大技术可利用一个光放大器将一定波长范围内的光信号直接放大，大大节省用户投资，使DWDM技术走向实用化。
- ☞ 光放大器主要有掺铒光纤放大器和半导体光放大器等，目前掺铒光纤放大器已非常成熟。

掺铒光纤放大器 (EDFA)

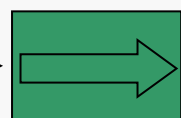


λ_1 λ_2 λ_N

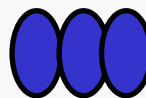


P_{in}

隔离器

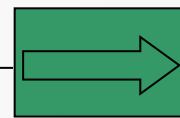


WDM耦合器

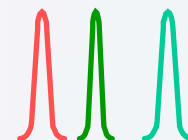


铒掺杂光纤

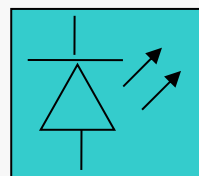
隔离器



λ_1 λ_2 λ_N



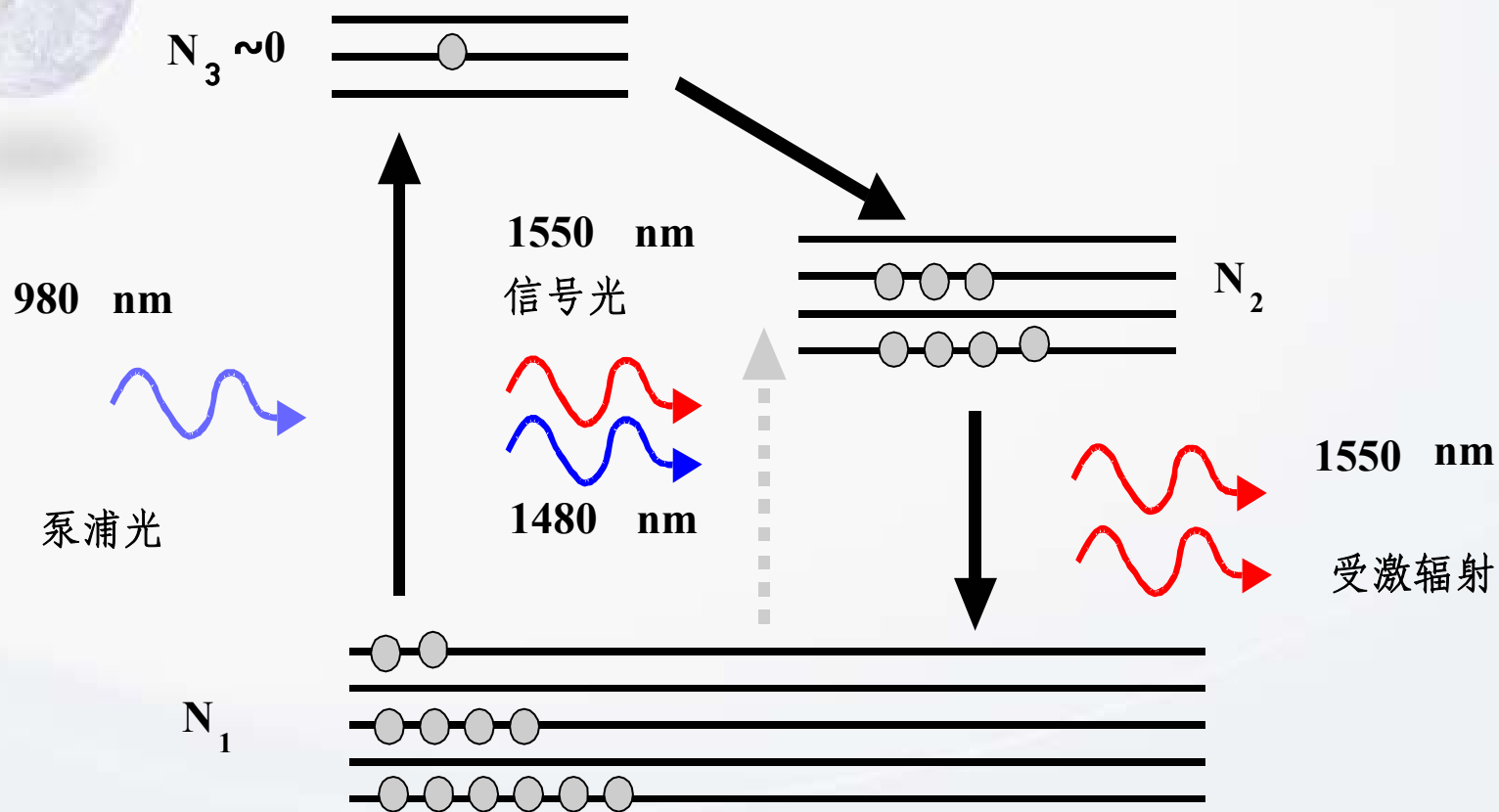
P_{out}



泵浦激光器

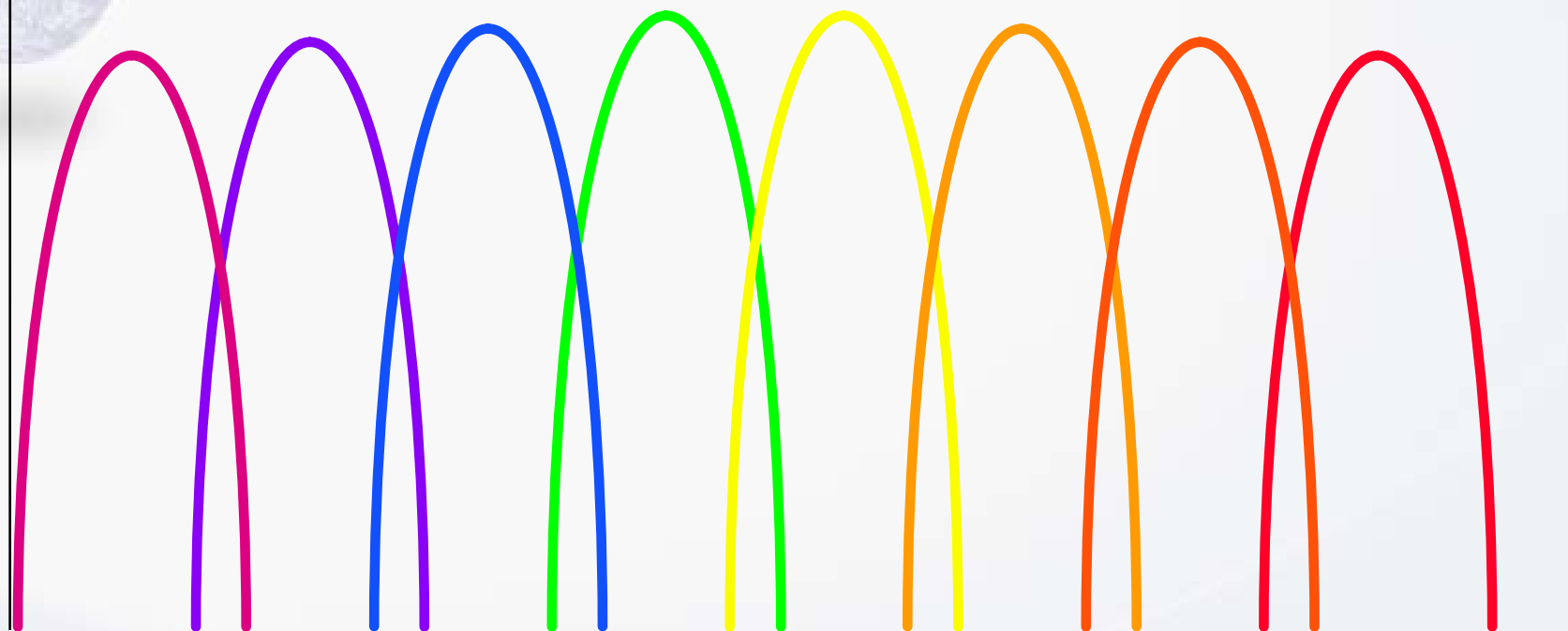
980nm, 1480nm

EDFA的工作原理



DWDM解复用器性能要求

相对功率



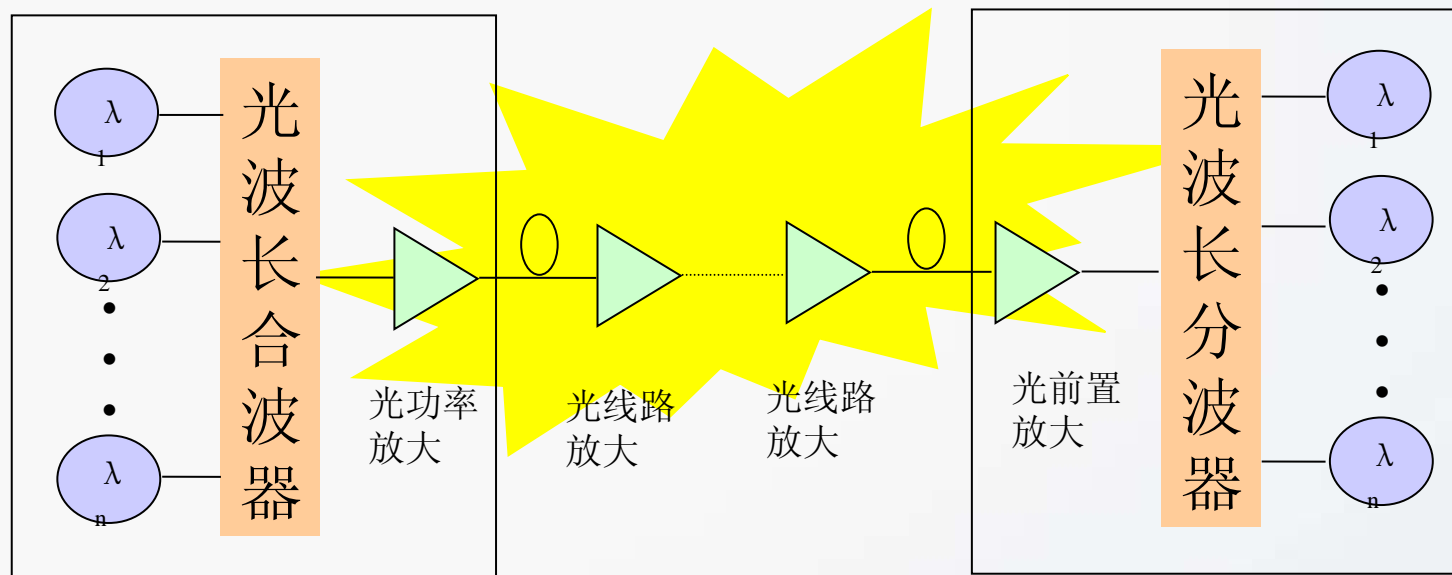
波长

要求：信道间功率均衡

良好的光谱特性（顶平而沿陡）

EDFA的应用分类

OBA
OPA
OLA



1550nm窗口的DWDM传输系统

掺铒光纤放大器 (EDFA) 技术

根据在WDM系统中的位置不同而分类

1) 功率放大器

- 用途：处于合波器之后，用于对合波后的信号进行功率提升
- 特点：对于噪声系数、增益要求不高，要求有较大的输出功率

2) 线路放大器

- 用途：用在中继设备上，用于补偿线路的传输损耗
- 特点：要求有较小的噪声系数和较大输出光功率

3) 前置放大器

- 用途：处于线路放大器之后，分波器之前，用于信号放大，提高接收机的灵敏度
- 特点：要求噪声系数较小，对于输出功率没有太大的要求

EDFA的主要性能参数

- 自发辐射 (ASE) 噪声
- 噪声系数 $NF = (S/N)_{in} / (S/N)_{out} \geq 3\text{dB}$
- 增益 $G = 10 \lg (P_{out} / P_{in})$ (dB)
- 增益平坦度-----增益均衡
- 带宽

掺铒光纤放大器 (EDFA) 技术

👉 EDFA的特点

对信号的格式及数据率“透明”

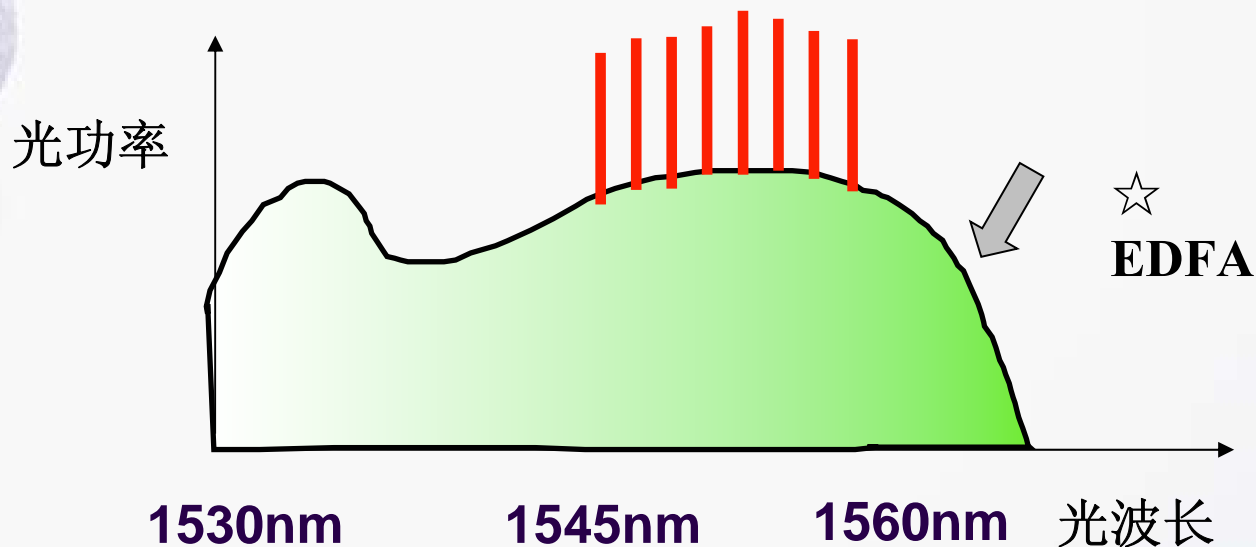
放大区恰好与单模光纤的最低损耗区域重合

噪声系数低，可以多级级联



掺铒光纤放大器 (EDFA) 技术

EDFA 频谱曲线 (未加滤波器)



- * 增益带宽 1530nm - 1565nm
- * 带内增益平坦性 功放、预放和线放：单个EDFA增益平坦度 $<1.5\text{dB}$
- * 噪声指数和饱和输出功率 小的噪声指数（小于 5.5dB ） 大的饱和输出功率
- * 工作增益 22/25/30/33dB等

掺铒光纤放大器 (EDFA) 技术



✎ 与光放大器相关的主要技术参数

- 输出功率
- 通道增益
定义：输出光功率和输入光功率之比
- 增益平坦度
用放大带宽内增益的最大差异值来表征
- 噪声系数
定义：输入端信噪比与输出端信噪比之比

掺铒光纤放大器 (EDFA) 技术

根据泵浦源的不同而分类

- 有两种泵浦源：980nm 和1480nm
 - 1) 采用980nm的泵浦源的EDFA
 - 特点：低噪声
 - 2) 采用1480的泵浦源的EDFA
 - 特点：较高的泵浦效率，可以输出较大功率
但噪声较高

掺铒光纤放大器 (EDFA) 技术

光放大技术主要需要解决的两大问题：

- 增益平坦度
 - 多级级联后EDFA增益曲线极不平坦，导致可选用的增益区减小
- 增益均衡技术
 - 某些波长信号的失去或增加会引起其它波长信号功率的骤变，引起系统误码

掺铒光纤放大器 (EDFA) 技术

提高光放大器的增益平坦度的办法:

- 滤波器型

原理: 在EDFA中内插无源滤波器, 将1530nm的增益峰降低, 或专门设计通透谱与掺铒光纤增益谱相反的滤波器将增益谱削平

特点: 工艺复杂, 有附加损耗

- 本征型

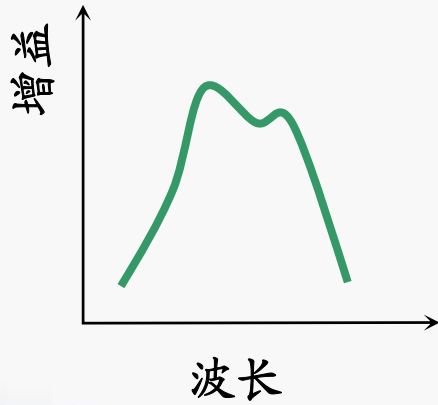
原理: 采用高铝掺杂的铒光纤或氟化物铒光纤。

特点: 无须引入附加元件, 而且掺铝光纤可以增大放大器的放大谱宽; 但是平坦化的效果不是很理想, 而且氟化物不稳定, 对环境有污染。

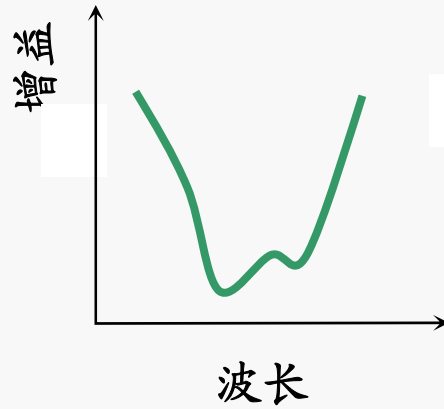
增益平坦措施



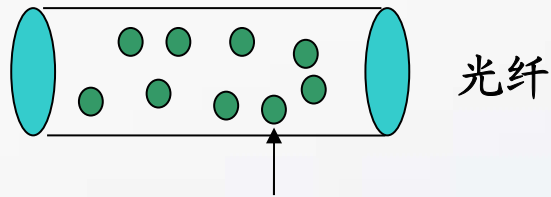
EDFA增益谱



均衡器



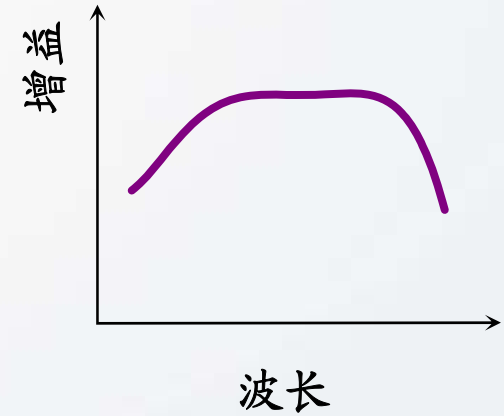
+



铝或其它离子

光放大器在一定的带宽范围内
(35 — 40nm) 增益是平坦的

得到的增益谱



◆ EDFA的动态可调增益与锁定

- ✉ EDFA能够根据光信号的变化，实时地动态调整自身的工作状态，减小信号波动的影响，保证整个信道的稳定。
- ✉ EDFA必须具备增益锁定功能，防止当某些光信道完全断路（或只剩最后一路信道）时对其他光信道的影响。

◆ EDFA的光浪涌问题

在输入信号跳变的瞬时将产生光浪涌，即输出功率出现尖峰。



◆ EDFA光放大器级连使用时的噪声积累问题

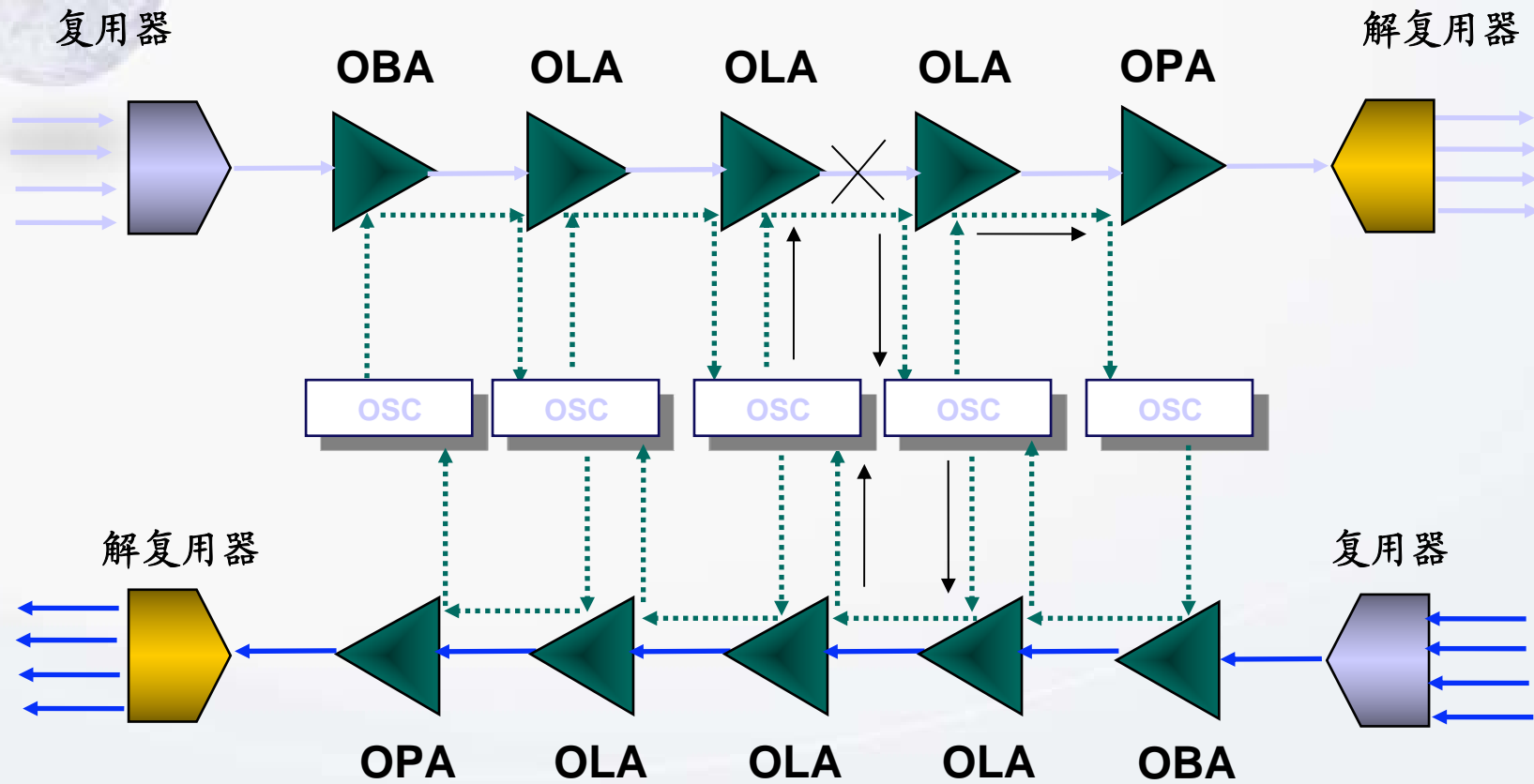
EDFA的噪声系数为4 — 6dB左右；

信噪比劣化的程度与级连的EDFA数量和光放大器之间光纤段的跨距有关。

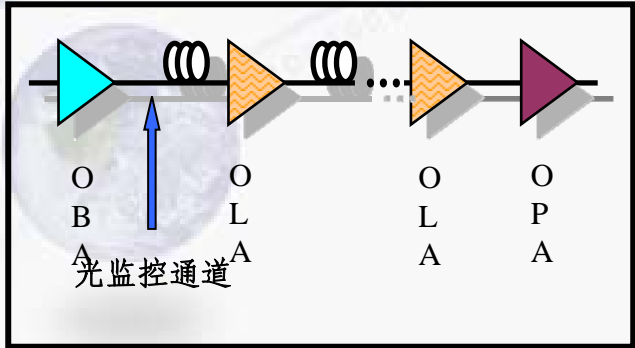
WDM系统关键技术

- 若干关键技术的提出
 - 光源技术
 - 光波分复用器和解复用器技术
 - 光转发技术
 - 掺铒光纤放大器（EDFA）技术
 - **WDM系统的监控技术**

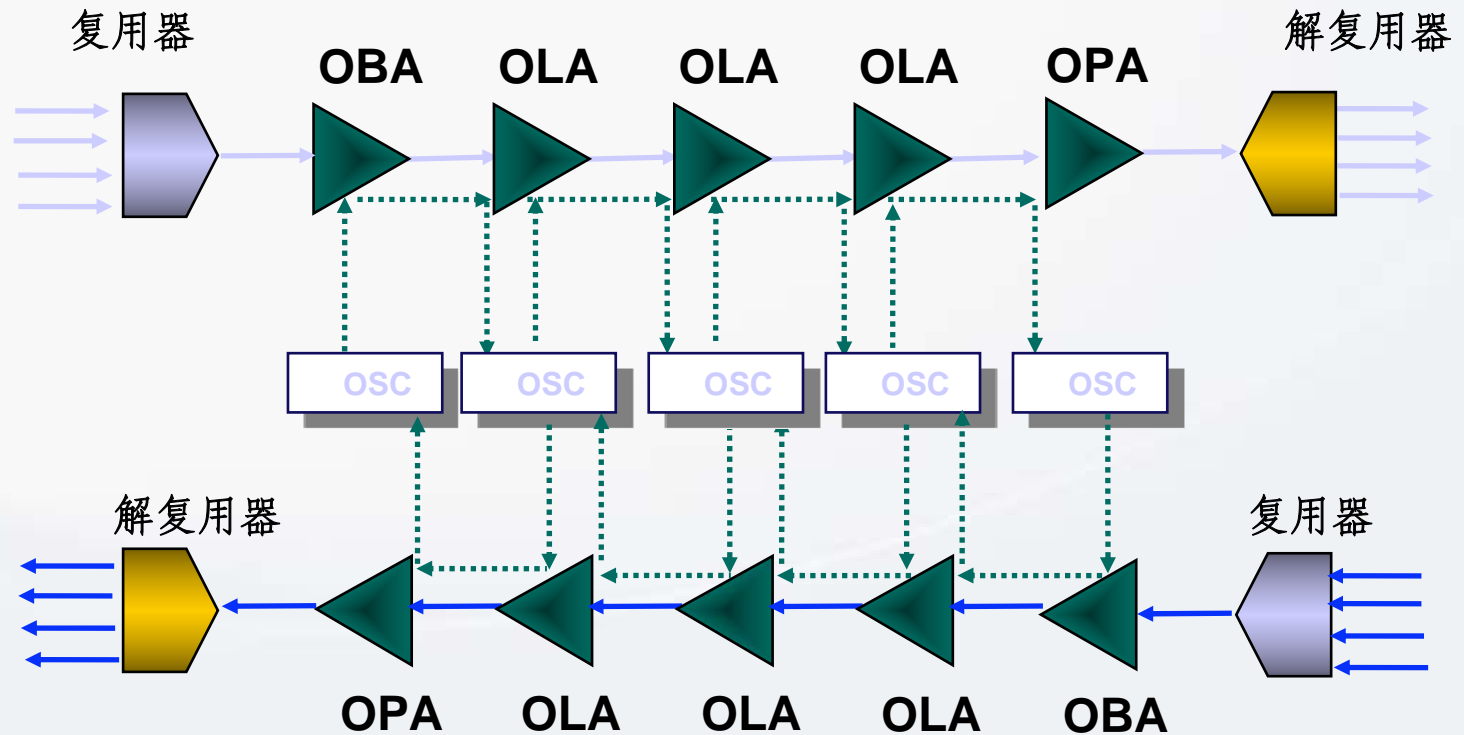
光监控通道 (OSC)



OSC光监控通道



- 1、实现监视、控制和管理DWDM设备的通道。
- 2、实现公务联络。
- 3、独立于主光通道，基于1510nm波长。



WDM系统的监控技术

对监控通道的要求：

- 不限制EDFA所用的泵浦波长；
- 不能限制两个线路放大器之间的距离
- 不能限制未来在1310nm波长上的业务
- 不依赖于信息信号的格式；
- 线路放大器失效时仍能使用；

WDM系统的监控技术

监控通道的实现:

- 采用**1510nm**的波长
- 信号速率为**2.048Mb/s**
- 接受机灵敏度: **-48dbm**
- 信号码型: **CMI**
- 信号发送功率: **0 -- -7 dbm**

*DWDM*系统中电再生段最大距离 (约640km) 的制约因素

- 光路信噪比的要求
- 光缆线路总色散值的限制
- 实际组网中640km往往都有上下业务的需求

WDM系统的保护和安全维护要求

- WDM系统的保护
- 安全维护要求

WDM系统的保护

波分复用系统的负载很大
安全性非常重要

○ 点到点线路保护方式;

☞ 基于单个波长、在SDH层实施的1+1或1:N的保护

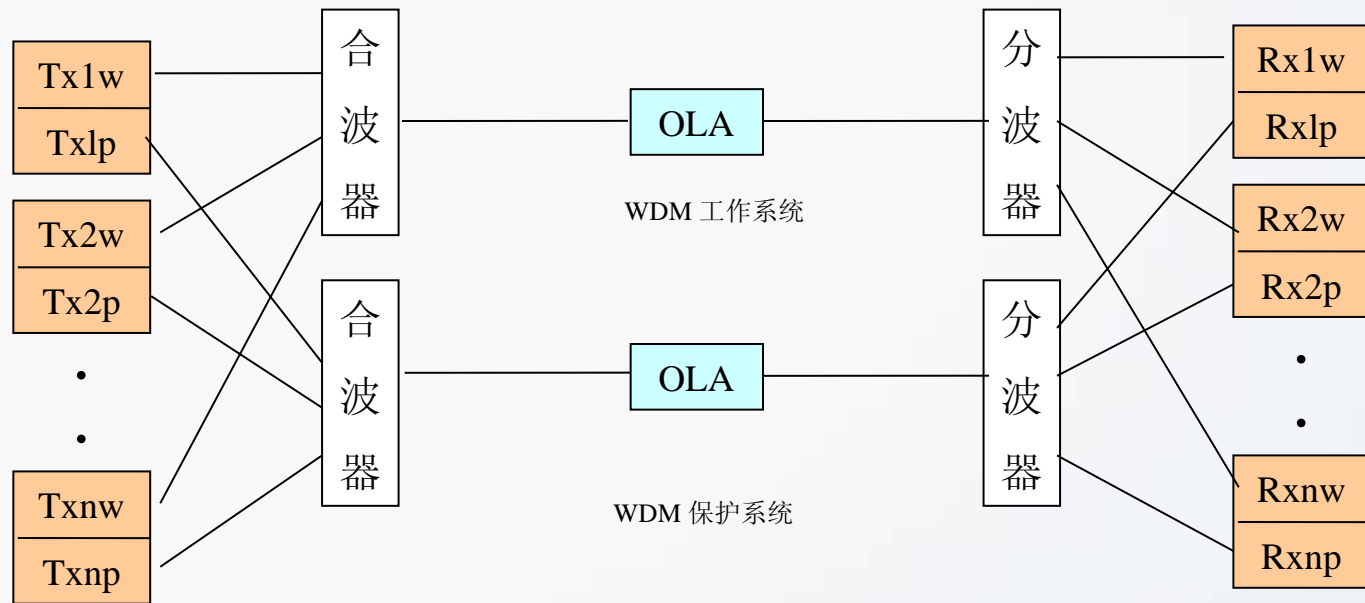
☞ 光复用段保护OMSP

○ 环网保护方式

☞ 点到点WDM系统组成环

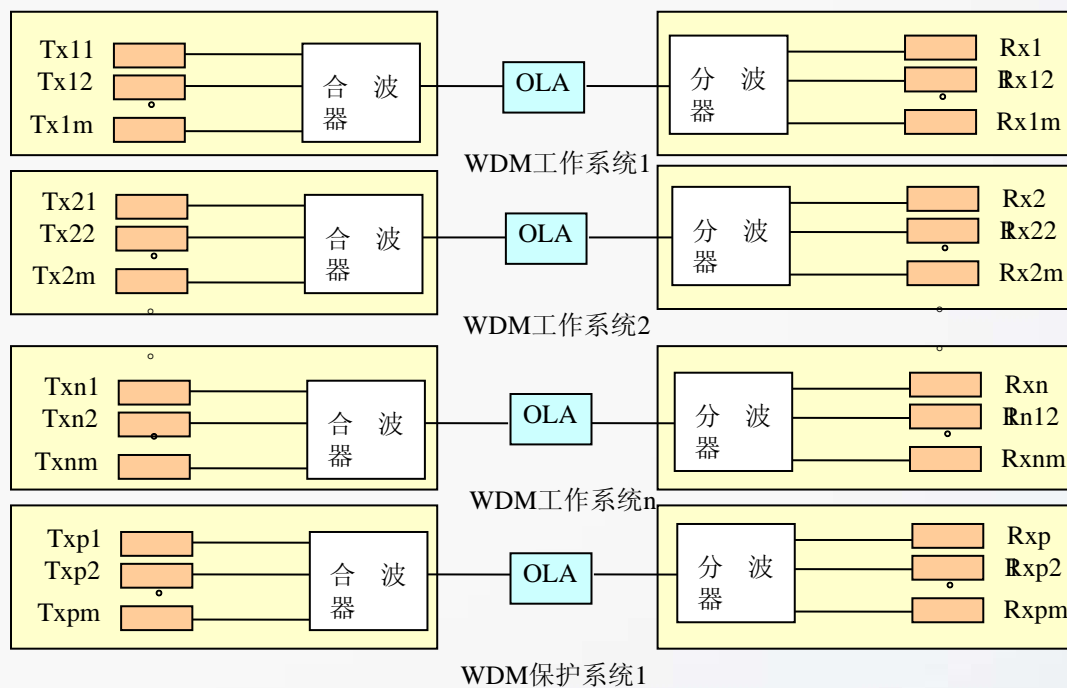
☞ 利用OADM设备组成环

点到点线路保护方式—在SDH层实施1+1的保护



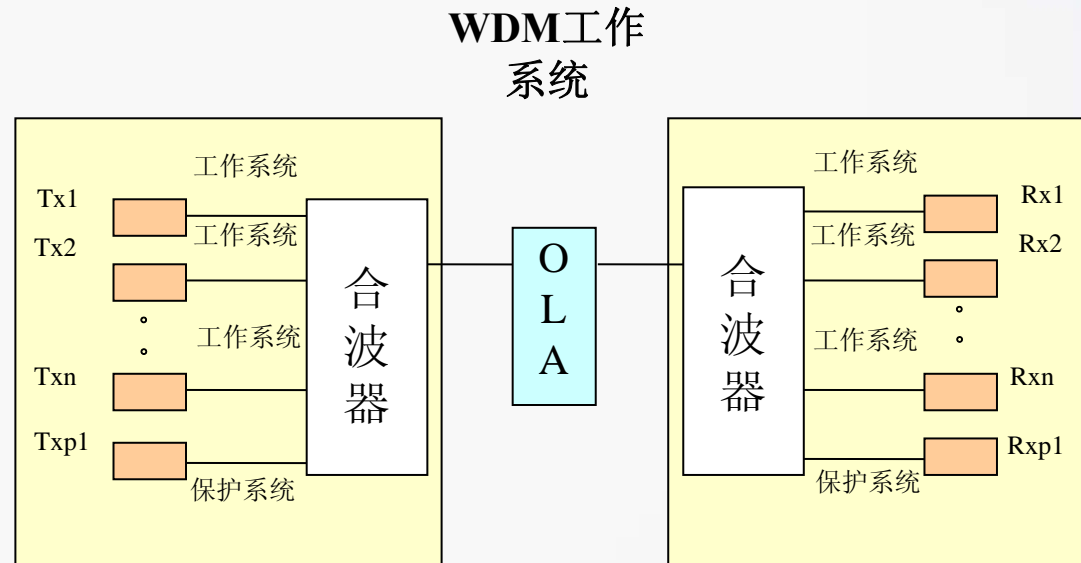
基于单个波长，在SDH层
实施的1+1保护

点到点线路保护方式—在SDH层实施的1:N保护



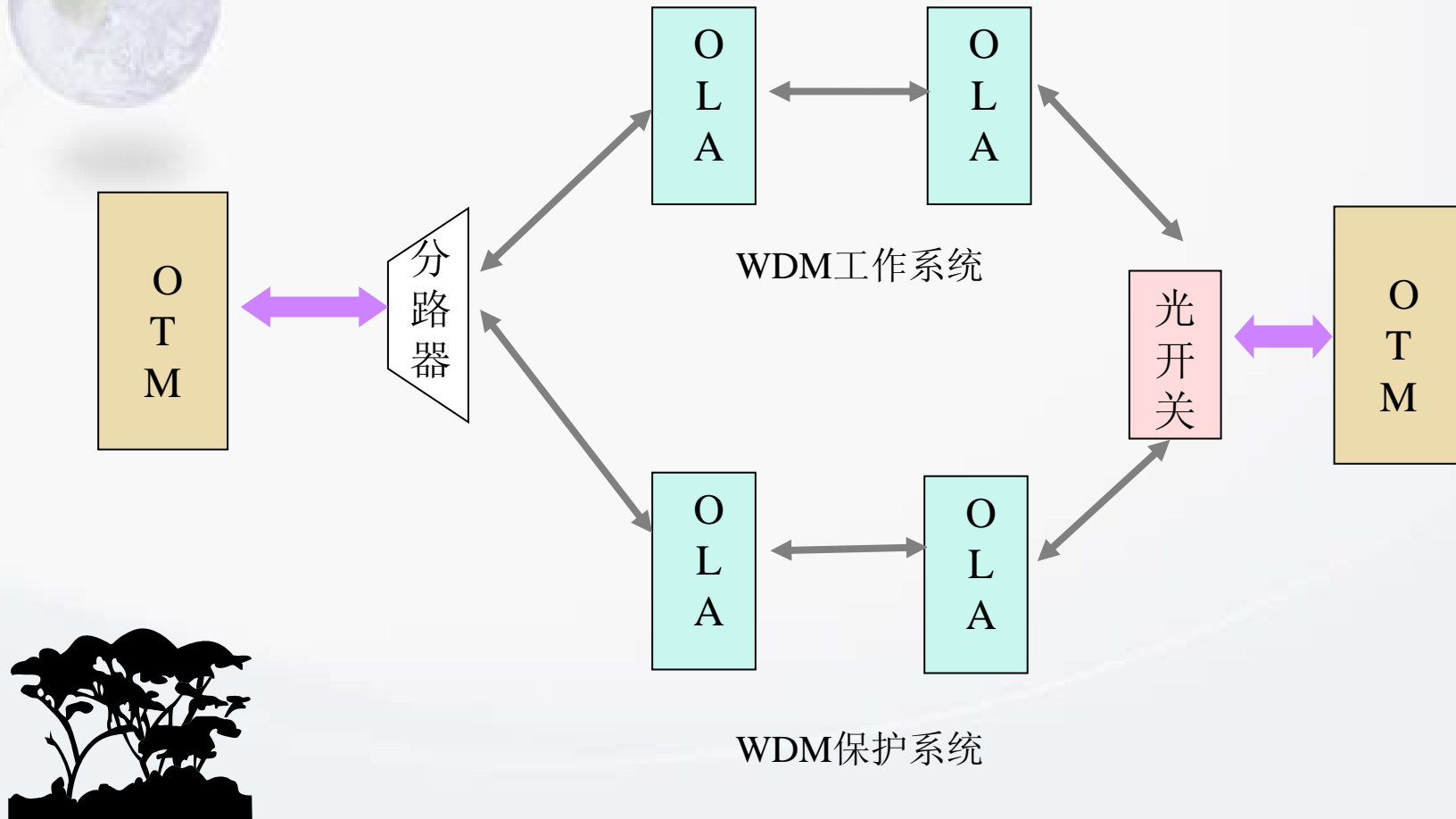
基于单个波长，在SDH层
实施的1:n保护

点到点线路保护方式—在SDH层实施的1:N保护

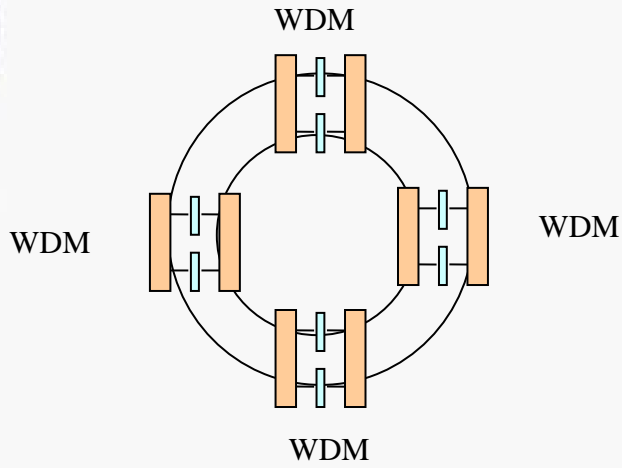


基于单个波长，在SDH层实施的同一WDM系统内的1:n保护

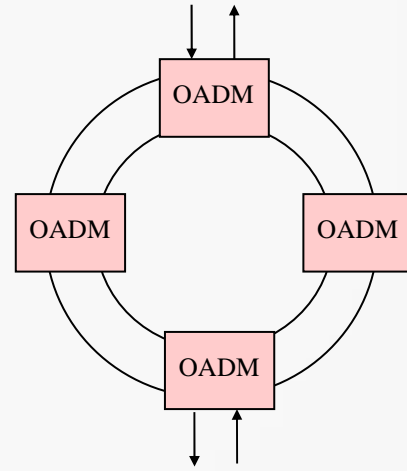
点到点线路保护方式—光复用段保护 (OMSP)



环网保护方式



利用点到点WDM系统组成的环



利用OADM系统组成的环

WDM系统的保护和安全维护要求

- WDM系统的保护
- 安全维护要求



- 单路或合路入纤最大光功率电平为17dBm
 - ☉ 激光器的安全
 - ☉ 光纤的非线形

- 自动功率关断功能（APSD进程）
 - ☉ 为了避免光放大器的“浪涌”现象
 - ☉ 在主光通道的一段或多段光中继段上光信号丢失时启动
 - ☉ 要关闭上游一个和下游再生段内的所有光放大器

- 保持光活动连接器清洁，尽可能减少活动连接器插拔。
- 充分注意测试仪器的允许输入光功率。
 - ☞ 过高的输入光功率会烧毁测试仪器（如SDH分析仪、光功率计、光谱仪）的探测器。
 - ☞ 过高的输入光功率会烧毁测试仪器的活动连接器。
- 尽可能少带电插拔单板。
- 良好的接地系统。