



现代光网络技术

- Jianing Liu
- Feb. 28th 2017

课程提纲

- 1. 光纤通信基础
- 2. SDH原理基础
- 3. WDM原理基础
- 4. OTN原理基础
- 5. MSTP城域网组网



1. 光纤通信基础



课程目标



一、光纤通信概论

二、光纤与光缆

三、光发送与光接收

光纤通信概论

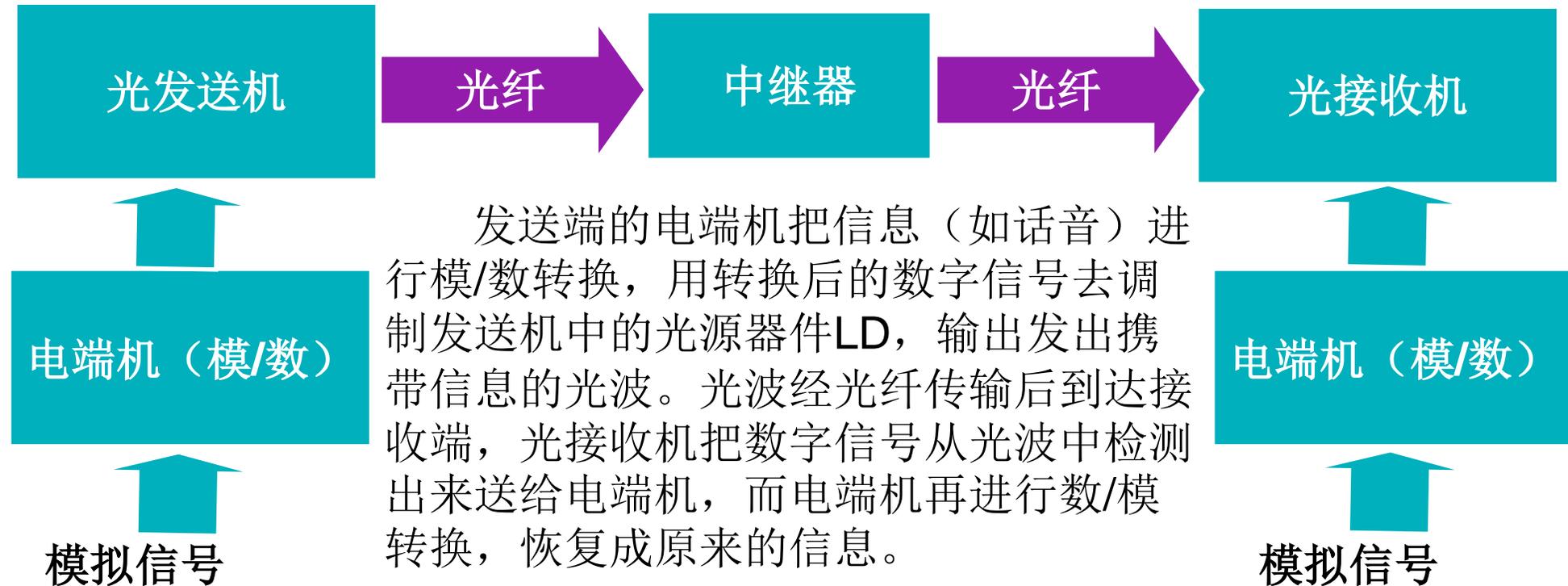
- 光纤通信概念

光纤通信以光作为信息载体，利用光纤传输携带信息的光波，以达到通信之目的。

数字光纤通信系统的基本组成：光发送机、光接收机、光纤

光纤通信概论

- 典型的数字光纤通信系统方框图



光纤通信概论

- 携带信息的光波：

数字信号为“1”时，光源器件发送一个“传号”光脉冲；

当数字信号为“0”时，光源器件发送一个“空号”（不发光）。

光纤通信优点

- 通信容量大

一根光纤同时传输24万个话路，比传统的明线、同轴电缆、微波等要高出几十乃至上千倍。

波分复用技术的采用，把一根光纤当作几根、几十根光纤使用，通信容量近乎无限。

- 中继距离长

光纤具有极低的衰减系数。目前商用化石英光纤已达0.19dB/km以下，配以适当的光发送与光接收设备，中继距离达数百公里以上，特别适用于长途一、二级干线通信。

光纤通信优点

- 保密性能好，抗干扰能力强

由于光的频率极高，远高于一般的电磁波的频率，而且光波在光纤中传输时只在其芯区进行，不存在传统的电磁波辐射，因此其保密性能极好，同时也不怕外界强电磁场的干扰，抗干扰能力强。

- 便于施工和维护

体积小、重量轻。光缆的敷设方式方便灵活。既可以直埋、架空，双可能通过管道和水底敷设。

光纤与光缆

- 光纤的构造

光纤呈圆柱形，由纤芯、包层与涂层三大部分组成，如下图：

光纤与光缆

- 光纤的构造

纤芯主要采用高纯度的SiO₂二氧化硅，并掺有少量的掺杂剂，提高纤芯的光折射率n₁；

包层也是高纯度的二氧化硅，也掺杂一些掺杂剂，主要是降低包层的光折射率n₂；

涂层采用丙烯酸酯、硅橡胶、尼龙，增加机械强度和可弯曲性。光缆是多根光纤放在放在一个松套管内，内冲石油膏和钢丝形成的。海底光缆内还有电源线，主要为中继站的放大器等提供电源。

光纤与光缆

- 光纤的导光原理

光是一种频率很高的电磁波，而光纤本身是一种介质波导。

我们从几何光学的角度来简单讨论光纤的导光原理。

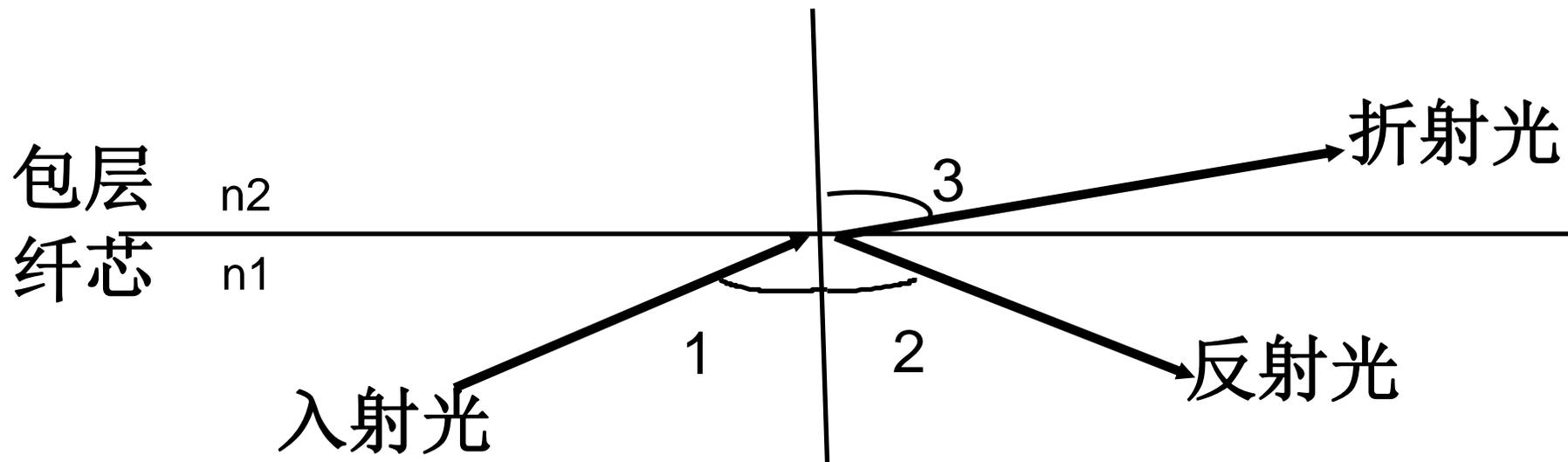
- 全反射原理

光线在均匀介质中是以直线传播的，但在两种不同介质的分界面会产生反射和折射现象，如图所示：

光纤与光缆

- 全反射原理

光线在均匀介质中是以直线传播的，但在两种不同介质的分界面会产生反射和折射现象，如图所示：



光的反射与折射

光纤与光缆

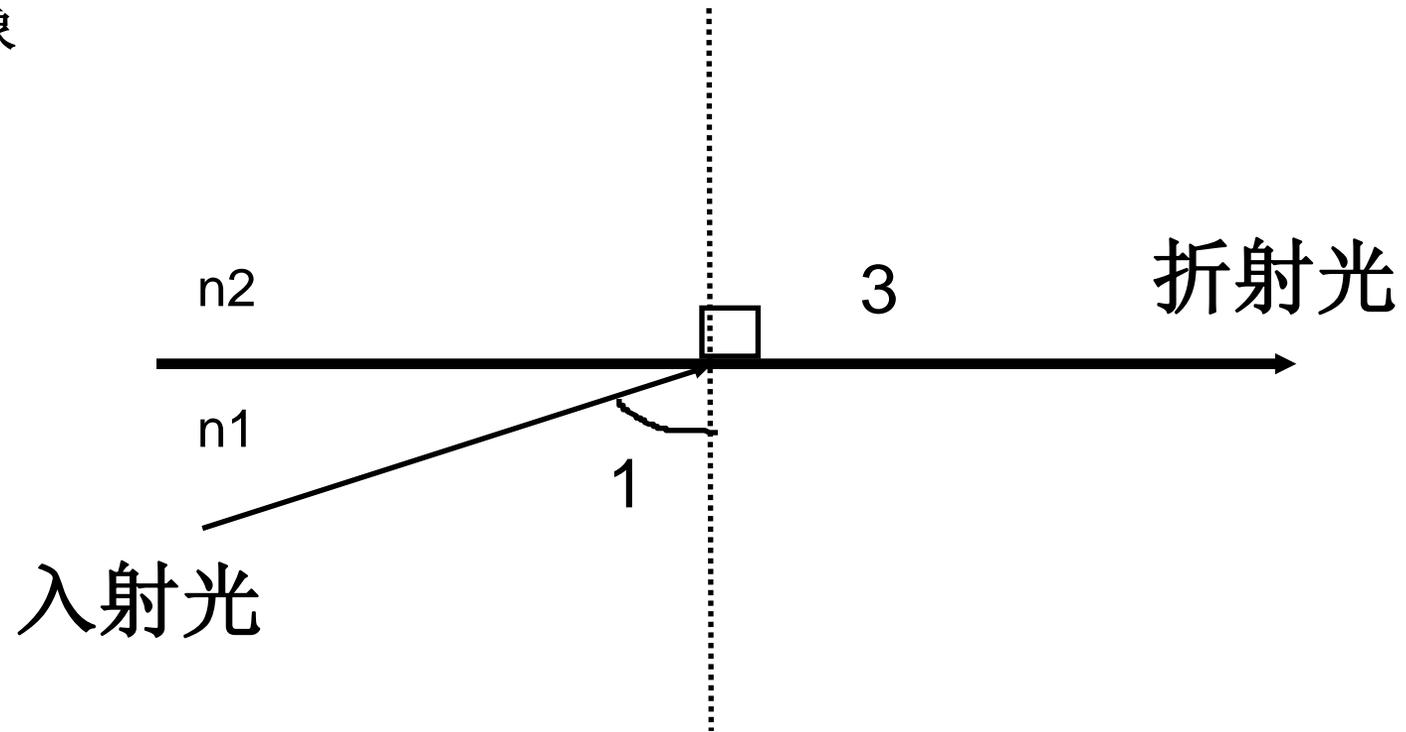
- 全反射原理

当 n_2/n_1 的比值增大到一定程度，则会使折射角 $\geq 90^\circ$ ，此时的折射光线不再进入包层，而会在纤芯与包层的分界面上掠过，或者重返回到纤芯中进行传播，这种现象叫做光的全反射现象。

不难理解，当光在光纤中发生全反射现象时，由于光线基本上全部在纤芯区进行传播，没有光跑到包层中去，所以可以大大降低光纤的衰耗。

光纤与光缆

- 全反射现象

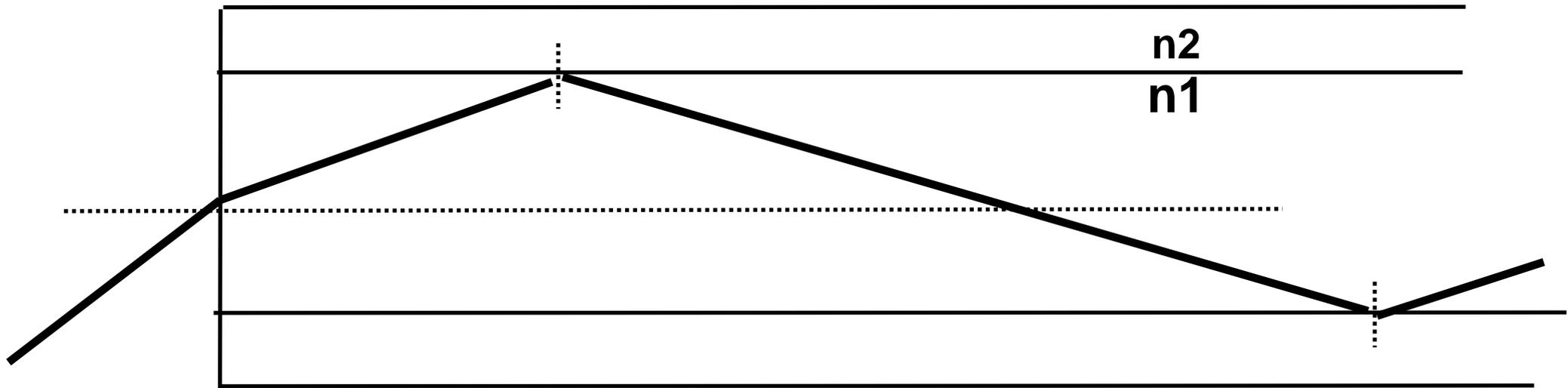


光的全反射现象

光纤与光缆

- 光在光纤中的传播

光在光纤中以“Z”形轨迹传播及沿纤芯与包层的分界面掠过



光纤与光缆

- 光纤的工作波长（工作窗口）

光线路信号在光纤上传送的波长：850nm、1310nm、1550nm。

850nm窗口只用于多模传输

1310nm和1550nm窗口 用于单模传输。

光纤与光缆

- 光通道参数：衰减、色散

光信号在光纤中传输的距离要受到色散和衰减的双重影响。

- 衰减

使在光纤中传输的光信号随着传输距离的增加而功率下降。

1310nm窗口每公里衰减：0.4dB/km

1550nm窗口每公里衰减：0.25dB/km

- 色散会使在光纤中传输的数字脉冲展宽，引起码间干扰，降低信号质量。

光纤与光缆

- 光纤的类型

- G. 652光纤：在1310nm波长窗口色散性能最佳，是最广泛的光纤。

目前应用

在1310nm处，色散小，衰耗大；

在1550nm处，色散大，衰耗小；

- G. 653光纤：在1550nm波长，衰耗和色散皆为最小值，可实现大容量长距离传输。因出现四波混频效应(FWM)，限制了它在WDM（波分复用）方面的应用。

光纤与光缆

- 光纤的类型
- G. 654光纤：1550nm损耗最小光纤，主要用于长再生中继距离的海底光缆。
- G. 655光纤：克服了G. 652光纤在1550nm处色散受限和G. 653光纤在1550nm处出现四波混频效应的缺陷，适用于WDM系统。

光纤与光缆

- 光缆简介

光缆为光纤提供可靠的机械保护，使之适应外部使用环境，并确保在敷设与使用中光缆的光纤具有可靠的传输性能。

- 光缆特性：

光缆虽有一定的强度和抗张力，但经不起过大的侧压力与拉伸力。光缆在短期内可接触水，当时间过长会增加光纤的衰耗。

- 光缆分类：

架空光缆、直埋式光缆、铠装光缆、海底光缆、阻燃光缆等等。

光纤与光缆

- 常见光纤连接器种类:

FC/PC: FC, 圆头尾纤连接器, PC, 陶瓷截面为平面;

SC/PC: SC, 方头尾纤连接器, PC, 同上;

FC/APC: FC, 同上, APC, 以截面中心为圆心, 向外倾斜80度。

- 光纤通信对光源器件的要求

- 发射光波长适中

0.85 μm 、1.31 μm 和1.55 μm 附近。

- 发射光功率足够大（指入纤光功率）

- 温度特性好

光源器件的发光波长与发射光功率易随温度变化，在较高温度下其性能容易劣化。

- 发光谱宽窄

谱线宽度 应小于2nm。谱线过宽，会增大光纤色散，减少光纤的传输容量与传输距离。

- 光纤通信对光源器件的要求

- 工作寿命长

光源器件寿命的终结是指其发光功率降低到初始值的一半或者其阈值电流增大到其初始值的二倍以上。

- 体积小、重量轻

光源器件分类

- 发光二极管LED

发光机理：自发辐射发光

- 优点：线性度、温度特性好、价格低、寿命长、使用简单
- 缺点：谱线较宽、与光纤的耦合效率低
- 应用：小容量、短距离的光纤通信；用于对线性变要求高的模拟传输。

- 激光二极管LD

发光机理：受激发光

- 优点：发光谱线窄（1~5nm）
与光纤的耦合效率高（可达90%），调制速率高
- 应用在大容量、长距离的数字光纤通信

光源器件分类

- 激光二极管LD

- 缺点：温度特性差

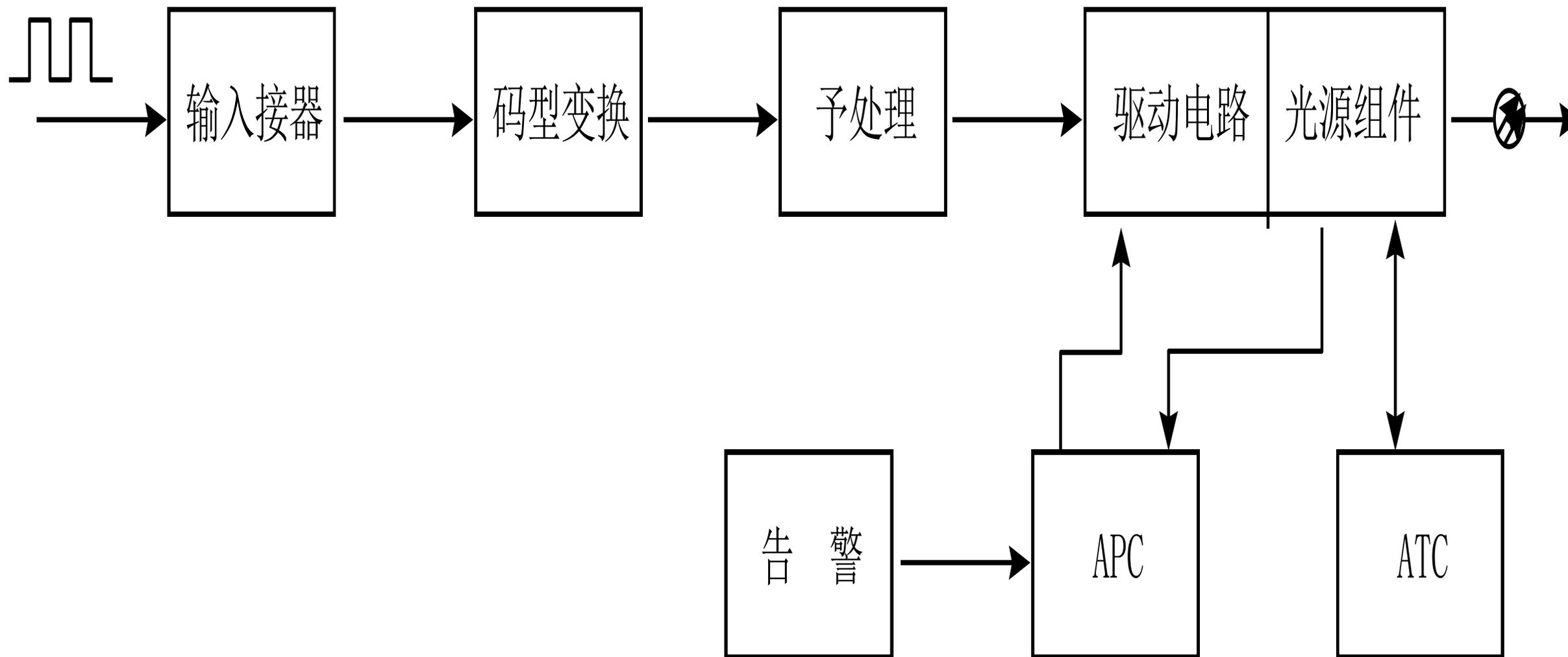
主要表现在其阈值电流随温度的上升而增加，如下图所示。（注：LD是阈值器件，需予偏置）

- 缺点：线性度差

LD的发光功率随其工作电流的变化，并非是一种良好的线性对应关系，但数字光纤通信对光源器件的线性度并没有过高的要求，并不影响使用。

- 工作寿命短，目前可达到数十万小时。

光发送机方框图



光发送机的主要技术指标

- 平均发送光功率：
指在发送“0”、“1”码等概率调制的情况下，光发送机输出的光功率值，单位为dBm。
- -20dB谱宽：
- 光发送机中光源器件的谱线宽度
一般用-20dB谱宽衡量，即指从中心波长的最大幅度下降到百分之（-20dB）时两点间的宽度
- 光源器件的寿命
- 消光比EX：
“1”码光脉冲功率与“0”码光脉冲功率之比
光发送机的消光比一般要求大于8.2dB，但并非越大越好，否则会引起“啁啾声”。

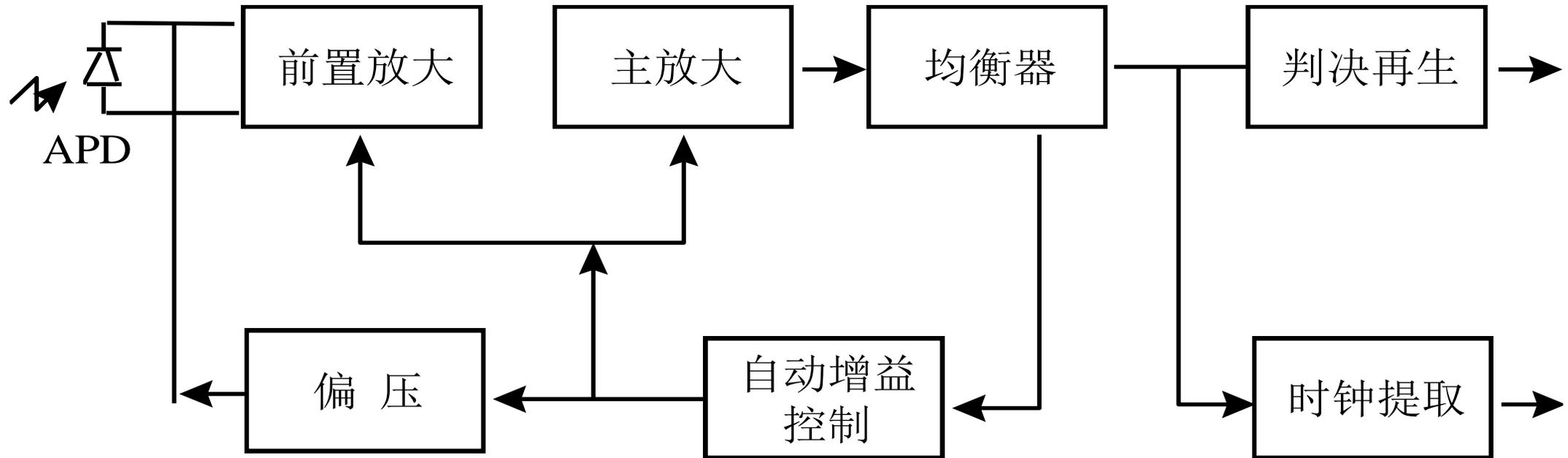
第四章 光检测器件与光接收机

- 光检测器件通过光/电转换，将信号（通信信息）从光波中分离（检测）出来。
- 光纤通信对光检测器件的要求：
 - 灵敏度高（响应度高）
 - 噪声低
 - 工作电压低
 - 体积小、重量轻、寿命长

光检测器件类型

- PIN光二极管：
 - 特性参数：灵敏度、响应时间
 - 优点：噪声小、工作电压低
 - 缺点：没有倍增效应。PIN的光接收机灵敏度不高，适宜用于短距通信。
- APD光二极管：
 - 特性参数：倍增因子 G （平均增益），倍增噪声因子
 - APD光二极管的最大优点是倍增效应，即输入同样大小的光功率信号能获得比PIN光二极管多几十倍的光电流，大大提高了光接收机的灵敏度（比PIN光接收机提高约10dB以上）。

光接收机方框图



光接收机各功能框介绍

- **前置放大器：**
把光检测器产生的微弱光电流进行预放大。
- **主放大器：**
把信号进一步放大，其增益一般在50dB以上。
- **均衡器：**
把主放大器输出的脉冲进行均衡，以形成码间干扰最小、最有利于进行判决的波形。

光接收机各功能框介绍

- 判决再生电路：
对均衡器输出的脉冲流逐个进行判决，并再生成波形整齐的脉冲码流。
- 时钟提取电路：
提取时钟，以保证收发同步。
- 自动增益控制（AGC）：
控制前置放大器与主放大器的增益，使光接收机有一个规定的动态范围。
- 偏压电路：
向APD光二极管提供反向偏压。

光接收机的主要技术指标

- 光接收机灵敏度:

在保证规定的误码率条件下(如 $BER=1 \times 10^{-10}$), 光接收机所需要的最小光功率值, 一般以dBm为单位。

灵敏度是光接收机一项重要技术指标, 灵敏度与光发送机的发光功率、光纤的衰减系数决定了光纤通信的中继距离。

- 光接收机过载光功率:

在保证规定的误码率条件下(如 $BER=1 \times 10^{-10}$), 光接收机所允许的最大光功率值, 以dBm为单位。

- 动态范围:

过载光功率与灵敏度之差, 动态范围一般在20dB以上。

光传输设计-概述

- 光纤通信的最大中继距离受光纤衰耗的限制，称为衰耗受限系统；
- 光纤通信的最大中继距离受传输色散的限制，称为色散受限系统。
 - 在PDH及SDH（STM-16以下）通信中，码速率不高（一般最高为140Mb/s），色散造成的影响不大，多数为衰耗受限系统。
 - 在SDH（STM-64或以上）通信中，码速率很高，光纤色散影响很大，系统可能是衰耗受限系统，也可能是色散受限系统。

光传输设计-光传输距离估算

- 损耗受限系统

光纤通信的中继距离受各种传输损耗参数的限制，如光发送机的平均发光功率、光缆的损耗系数、光接收机灵敏度等。损耗受限系统的接收光功率可用下式计算：

实际接收光功率 = 发送光功率 - 光传输距离*损耗系数/km - 活动连接器总损耗

光纤的损耗系数： 1310nm波长： 0.3~0.4dB/km

1550nm波长， 0.15~0.25dB/km

活动连接器损耗：一般每个为0.5 dB。

将实际接收光功率与接收灵敏度相比较，前者应比后者高5dB以上，才能保证光传输系统长期正常工作。

光传输设计-光传输距离估算

- 色散受限系统

由于系统中光纤色散、光源谱宽等因素的影响，限制了光纤通信的中继距离。

色散受限系统的中继距离，一般在光板技术指标中会给出。



2. SDH原理基础



课程目标

- 学习完此课程，您应能：
 1. 掌握SDH信号帧结构以及各种开销字节及相关告警的含义
 2. 掌握设备的逻辑组成
 3. 理解各种设备级保护和网络级保护
 4. 理解复用和解复用的过程



内容介绍

第1章 SDH概述

第2章 SDH信号帧结构和复用步骤

第3章 开销和指针

第4章 设备的逻辑功能块构成



SDH概述

- 内容
 - SDH的定义
 - 光传送网络的发展
 - SDH的工作方式
 - SDH的特点
- 目标
 - 掌握SDH体制的整体概念

SDH的定义

◆ SDH的基本概念

SDH: Synchronous Digital Hierarchy

是一整套可进行同步数字传输、复用和交叉连接的标准化数字信号的等级结构。

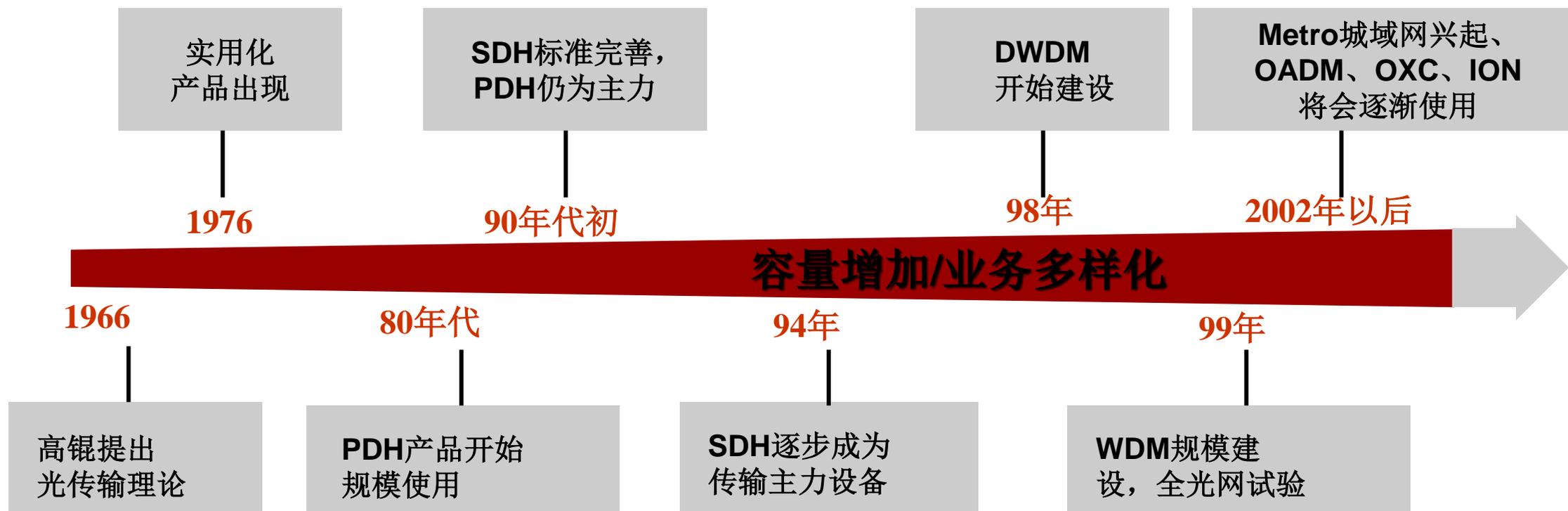
◆ SDH产生的社会背景

通信网传输、交换、处理大量信息，向数字化、综合化、智能化、个人化发展。

作为通信网的承载体传输网要求：

- 宽带化——信息高速公路
- 规范化——世界性统一的标准接口

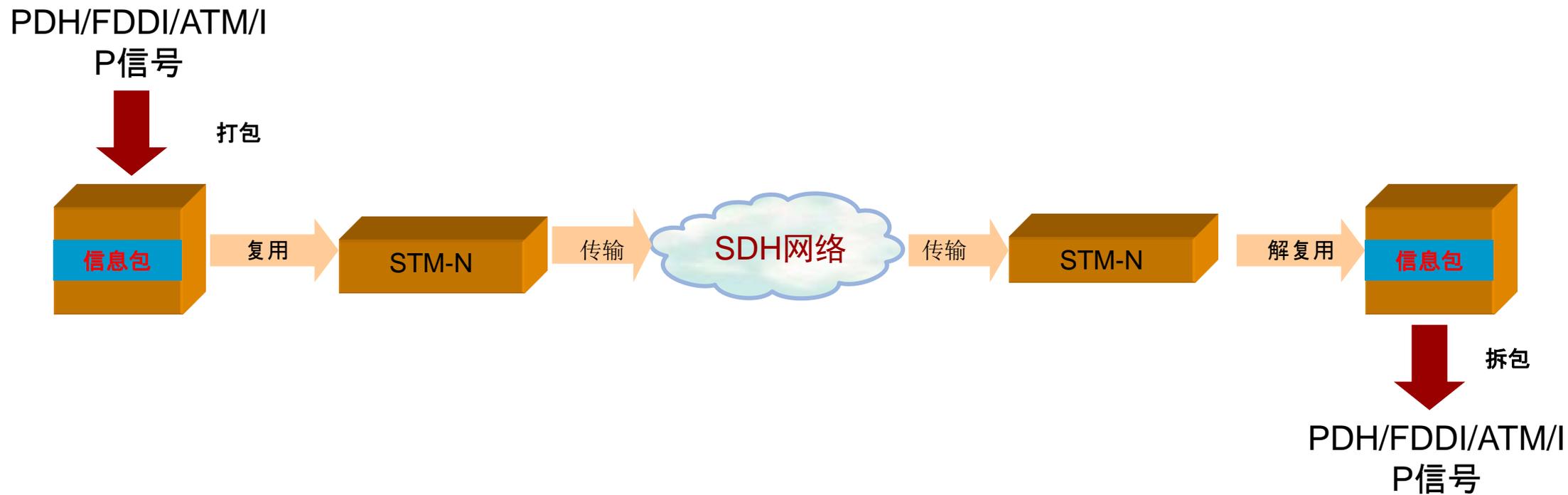
光传送网络的发展



PDH: 准同步数字传输系统;
WDM: 波分复用系统;
OXC: 光交叉连接系统;

SDH: 同步数字传输系统;
OADM: 光分插复用系统;
ION: 智能光网络

SDH的工作方式



SDH的特点

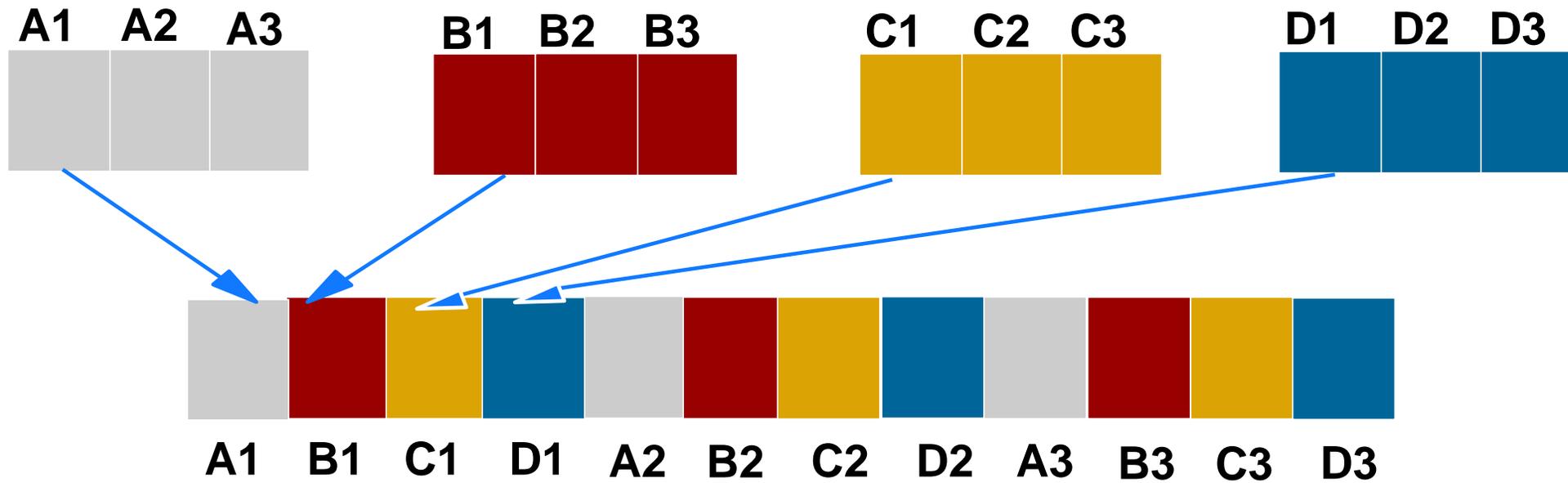
◆ 接口方面

- 光接口
 - STM-1是SDH的第一个等级，又叫基本同步传送模块，比特率为155.520Mb/s。
 - STM-N是SDH第N个等级的同步传送模块，比特率是STM-1的N倍($N=4n=1, 4, 16, 64, 256$)。
- 电接口
 - 仅对电信号扰码。光口信号码型是加扰的NRZ码，采用世界统一的标准扰码。

SDH的特点

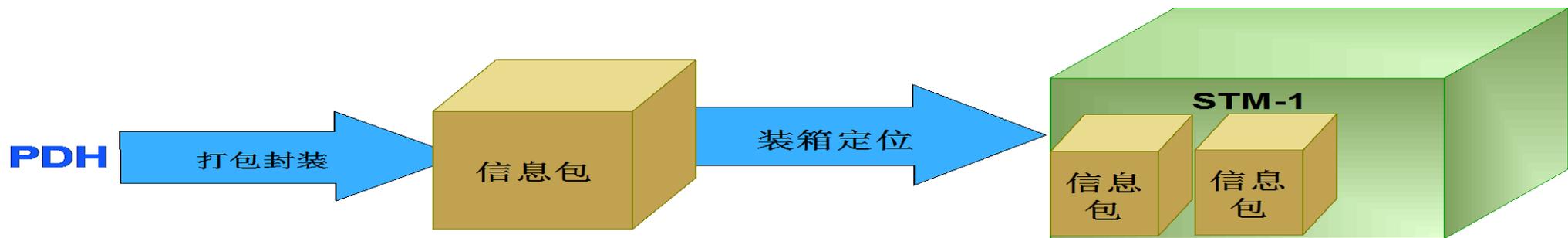
- 复用方式——同步复用和灵活的映射结构
 - 低阶SDH→高阶SDH。

例如：**STM-1→STM-4**。采用字节间插复用方式，**4xSTM-1→STM-4**。



SDH的特点

- PDH→SDH——通过指针定位预见低速信号在帧中位置，使收端可直接下低速信号。



SDH的特点

- OAM功能
 - 用于OAM的开销多
 - OAM功能强——这也是线路编码不用加冗余码的原因
 - 兼容性——决定成本
- 老体制设备是否还可发挥作用
 - 对新体制能否接入



小结

本节我们主要学习了：

- SDH的定义
- 光传送网络的发展
- SDH的工作方式
- SDH的特点

内容介绍

第1章 SDH概述

第2章 SDH信号帧结构和复用步骤

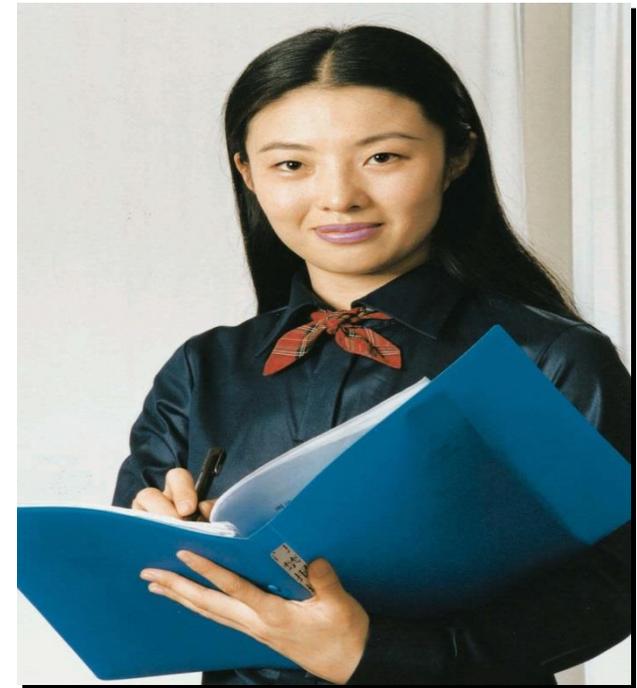
第3章 开销和指针

第4章 设备的逻辑功能块构成

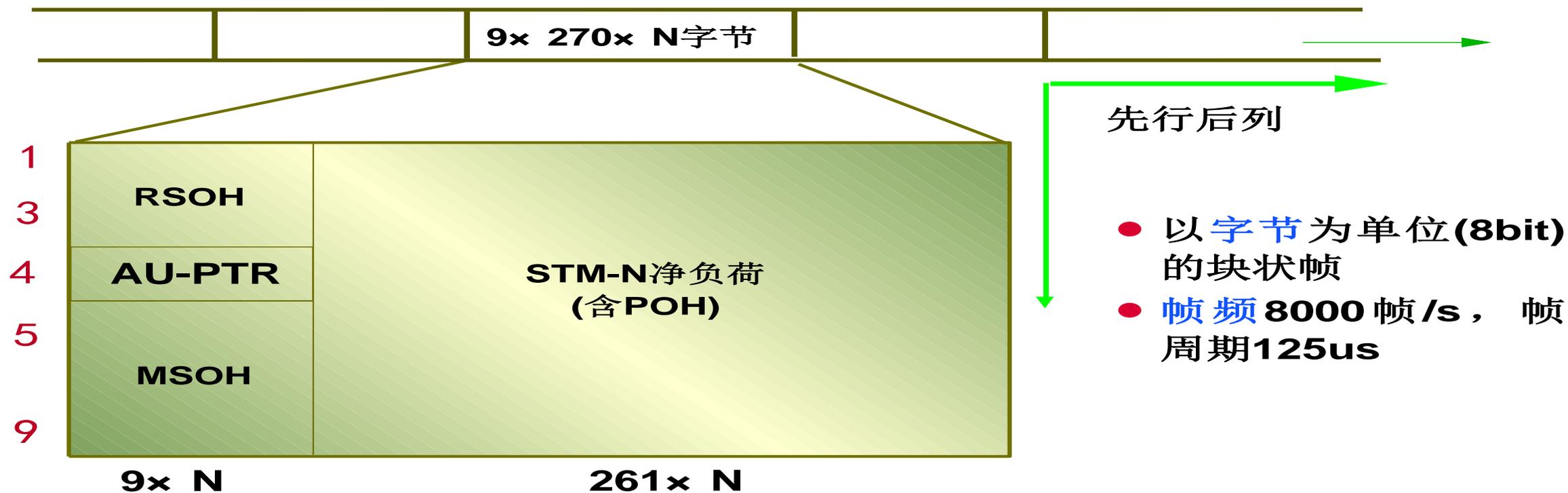


帧结构和复用步骤

- 内容:
 - STM-N的帧结构和帧各部分的作用
 - PDH信号复用进STM-N帧的方式
 - 140M复用进STM-N帧
 - 34M复用进STM-N帧
 - 2M复用进STM-N帧



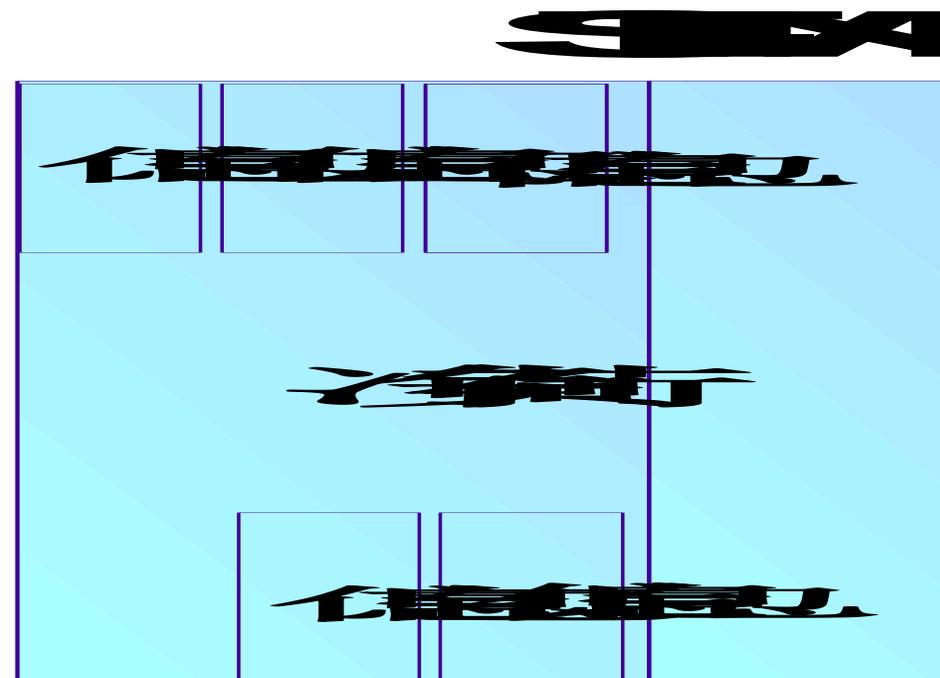
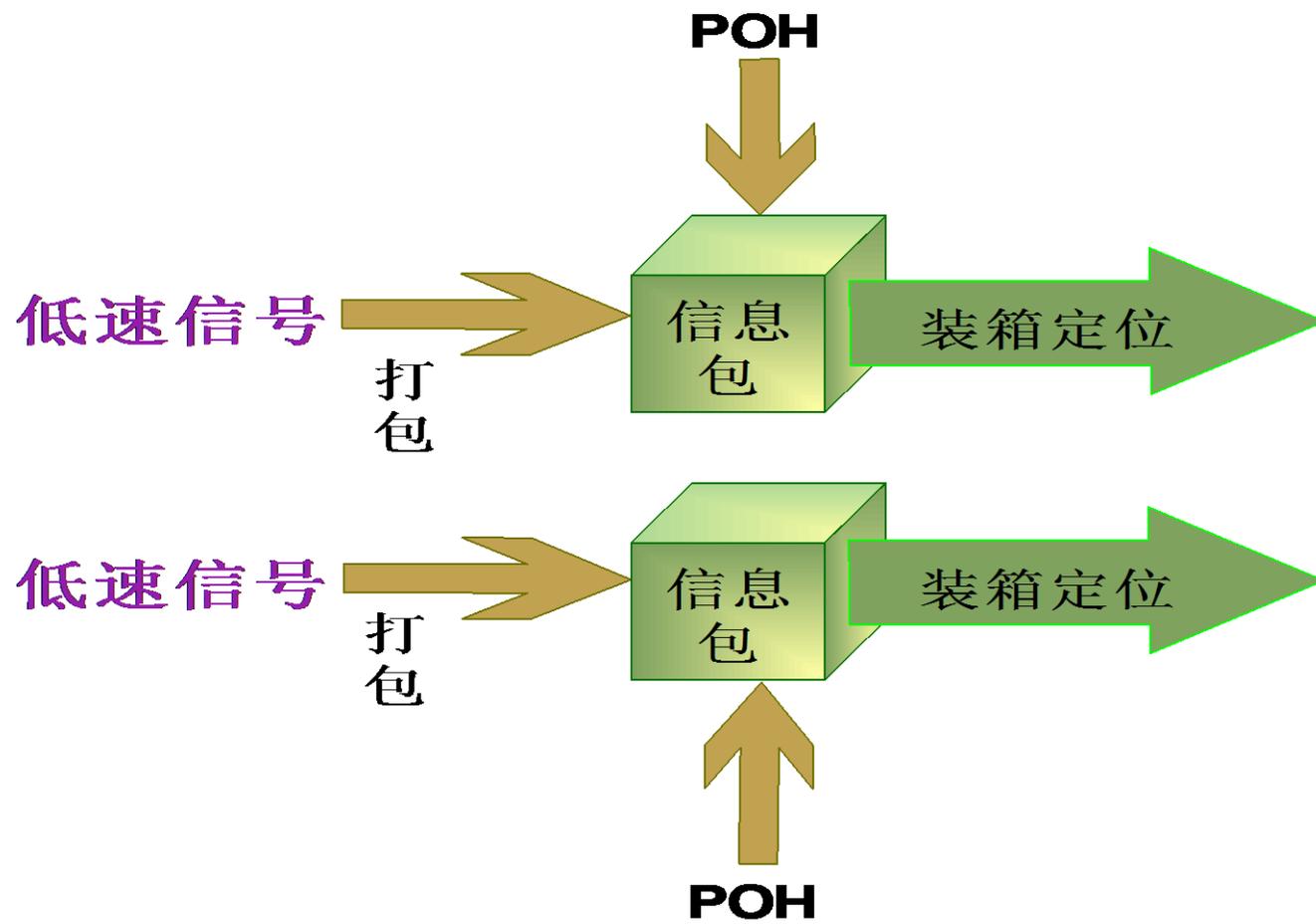
帧结构



信息净负荷 (9行 × 261列)

- STM-N帧中放置各种业务信息的地方。
- 2M/34M/140M等PDH信号、ATM信号、IP信息包等打包成信息包后，放于其中。然后由STM-N信号承载，在SDH网上传输。若将STM-N信号帧比做一辆货车，其净负荷区即为该货车的车厢。
- 在将低速信号打包装箱时，在每一个信息包中加入通道开销POH，以完成对每一个“货物包”在“运输”中的监视。

帧结构



段开销

- 段开销——完成对STM-N整体信号流进行监控。即对STM-N“车厢”中所有“货物包”进行整体上的性能监控。
 - 再生段开销(RSOH)——完成对STM-N整体信息结构进行监控
 - 复用段开销(MSOH)——完成对STM-N中的复用段层信息结构进行监控
 - RSOH、MSOH、POH组成SDH层层细化的监控体制
 - 二者区别：宏观（RSOH）和微观（MSOH）

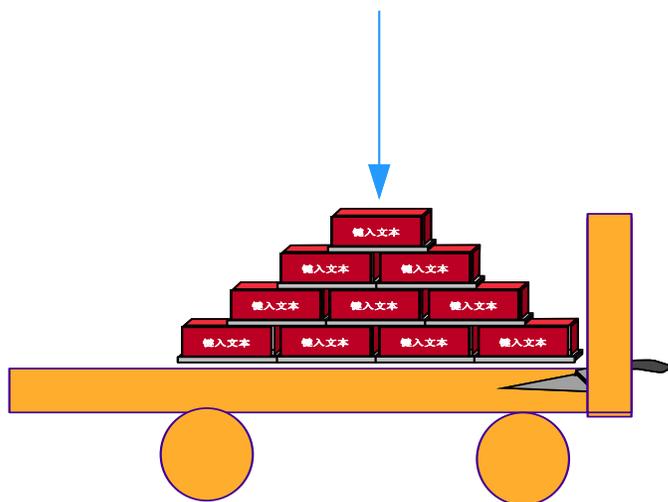
管理单元指针——AU-PTR

- 定位低速信号在STM-N帧中(净负荷)的位置，使低速信号在高速信号中的位置可预知。
- 发端在将信号包装入STM-N净负荷时，加入AU-PTR，指示信号包在净负荷中的位置，即将装入“车厢”的“货物包”，赋予一个位置坐标值。
- 收端根据AU指针值，从STM-N帧净负荷中直接拆分出所需的低速支路信号；即依据“货物包”位置坐标，从“车厢”中直接所需要的那一个“货包”。
- 由于“车厢”中的“货物包”是以一定的规律摆放的——字节间插复用方式；所以对货物包的定位仅需定位“车厢”中第一个“货物包”即可。

帧结构

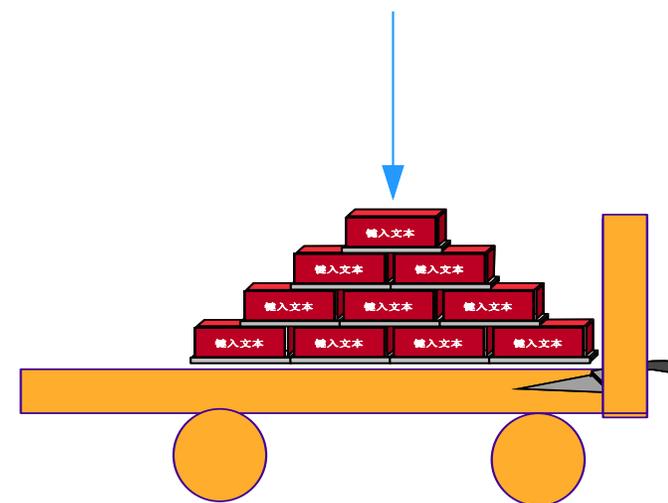
发端:

AU-PTR定位车厢
中第一个信息包



收端:

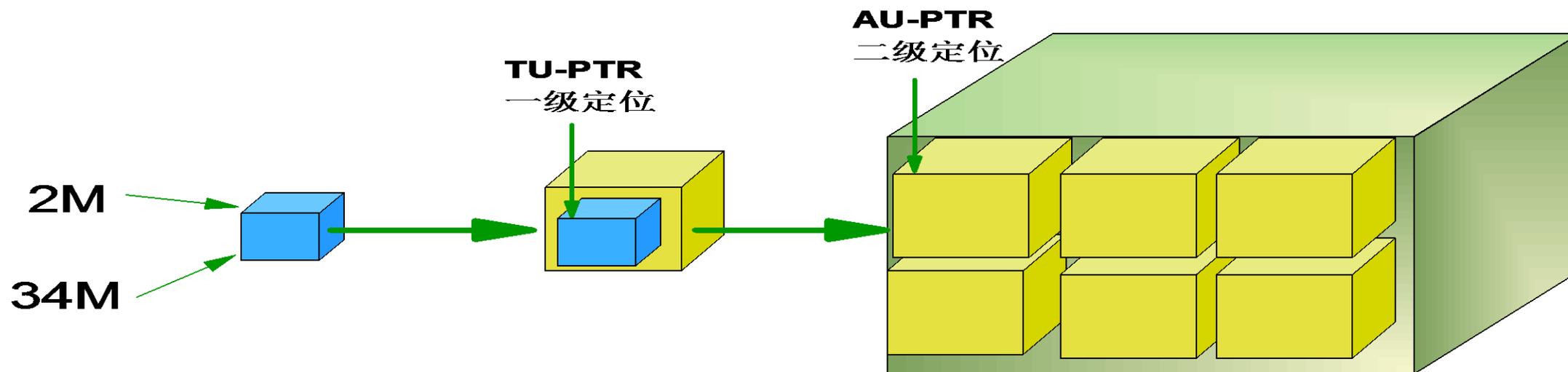
根据收到的AU-PTR值
找到此信息包, 通过字
节间插的规律性, 进而
定位到其他信息包



帧结构

- 若复用的低速信号速率较低，即打包后信息包太小，例：2M、34M。
- 需进行二级指针定位。先将小信息包打包成中信息包，通过支路单元指针TU-PTR定位其在中信息包中的位置。然后将若干中信息包打包成大信息包，通过AU-PTR指示相应中信息包的位置。

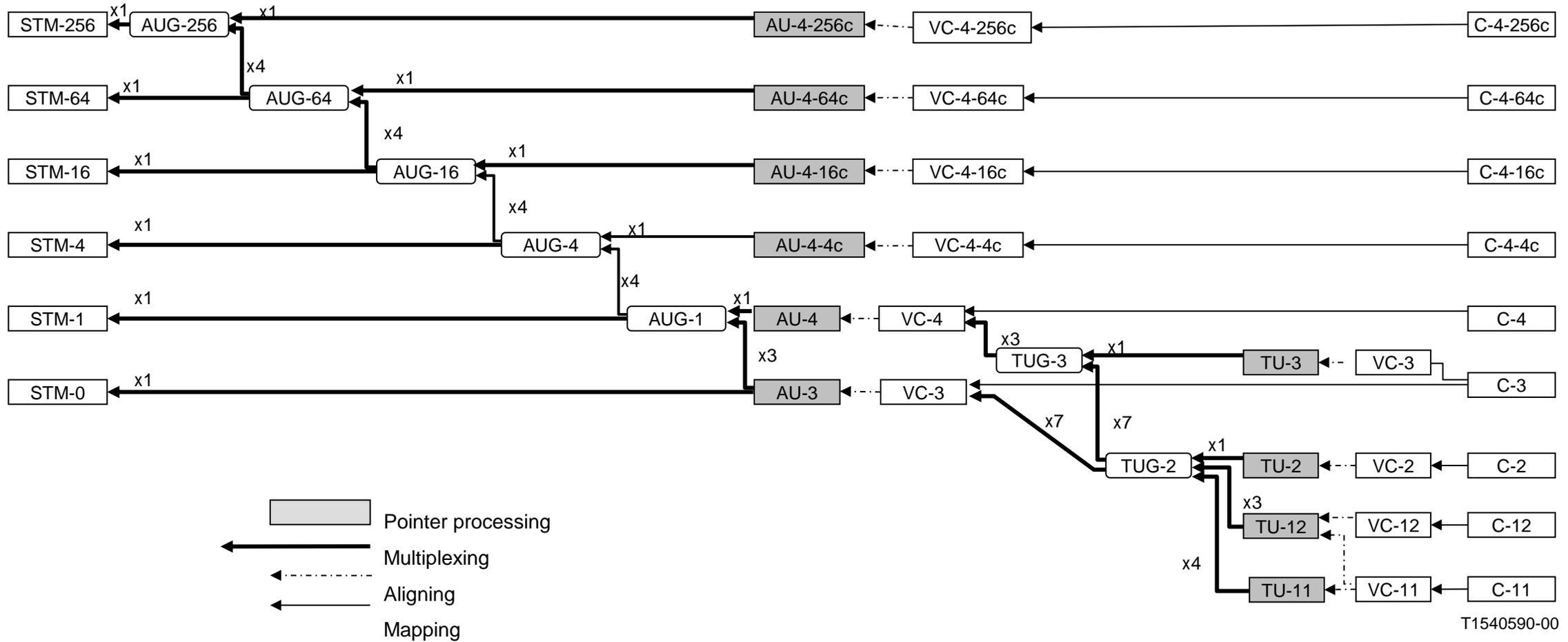
帧结构



复用步骤(复用方式、复用结构)

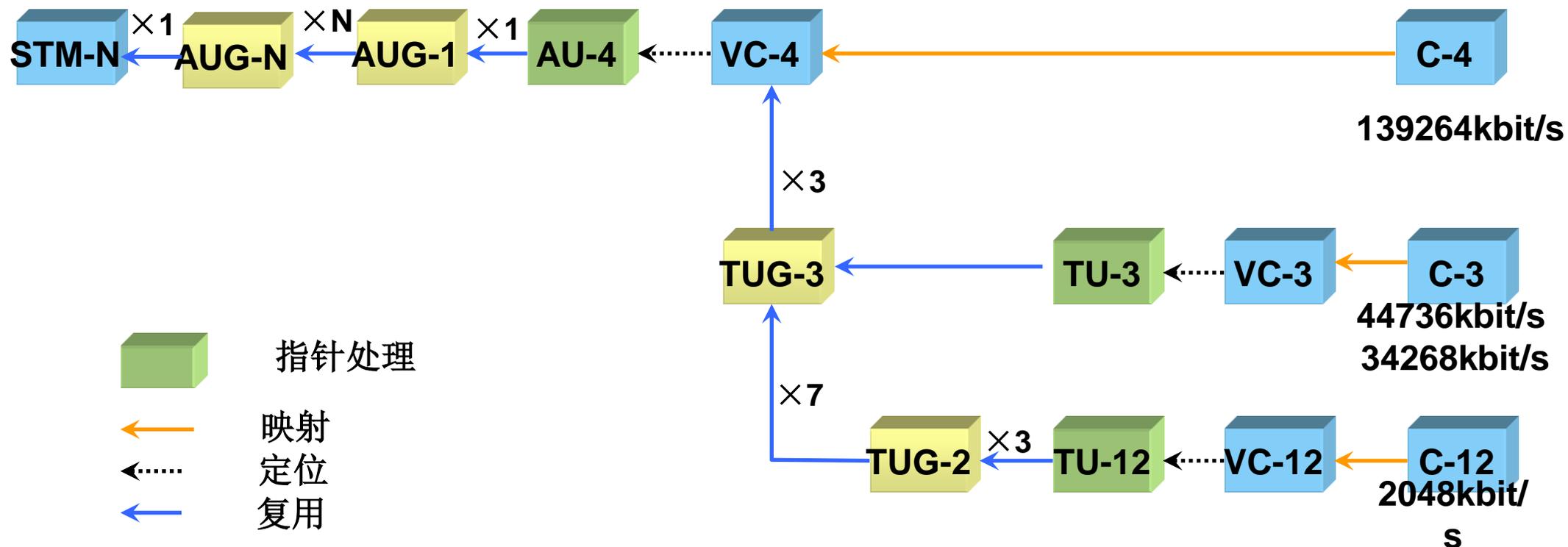
- 低阶SDH→高阶SDH：同步字节间插复用方式
- PDH信号→STM-N：同步复用和灵活的映射
 - 140M→STM-N
 - 34M→STM-N
 - 2M→STM-N
- 复用是依复用路线图进行的，ITU-T规定的路线图有多种，但通常一个国家或地区仅使用一种。

G. 707新的SDH复用路径图



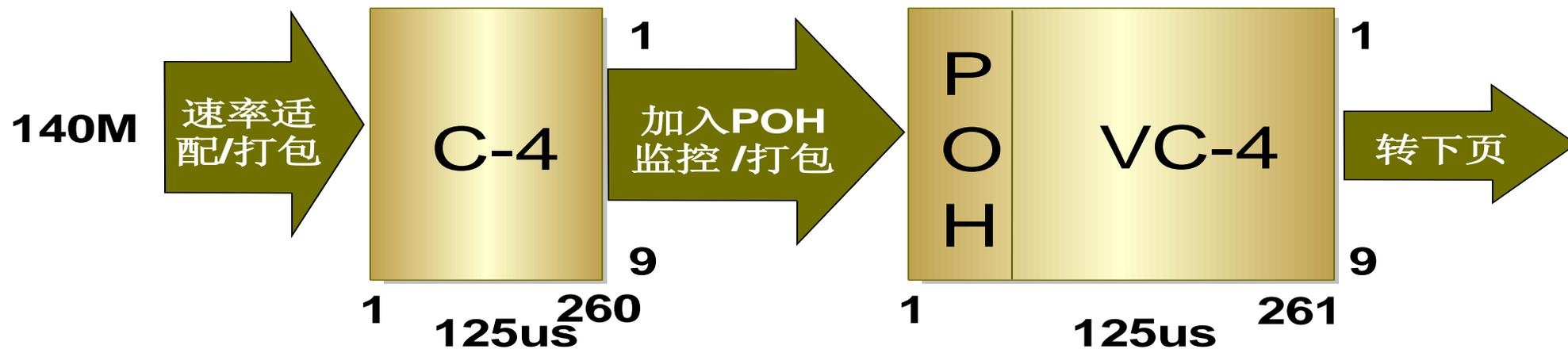
T1540590-00
(108449)

中国的SDH基本复用映射结构

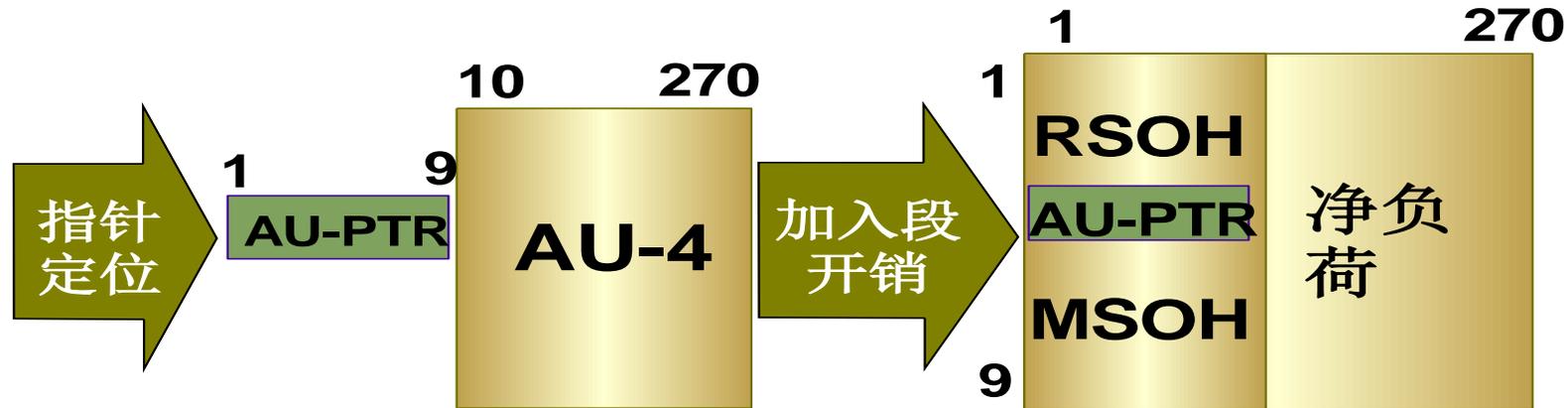


140M复用步骤

- C-4——容器4；与140M相对应的标准信息结构，完成速率适配功能。
- VC-4——虚容器4；与C-4相对应的标准信息结构，完成对装载的140M信号进行实时的性能监控。

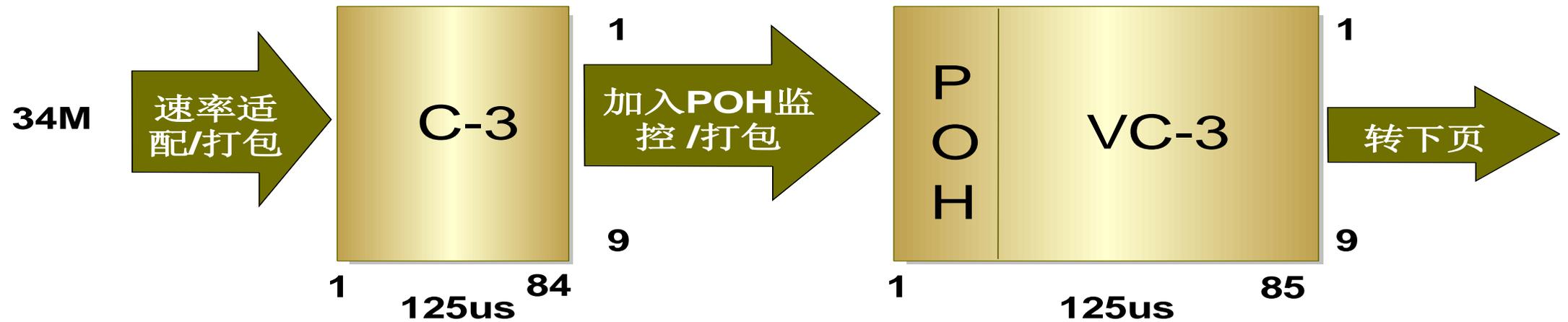


140M复用步骤



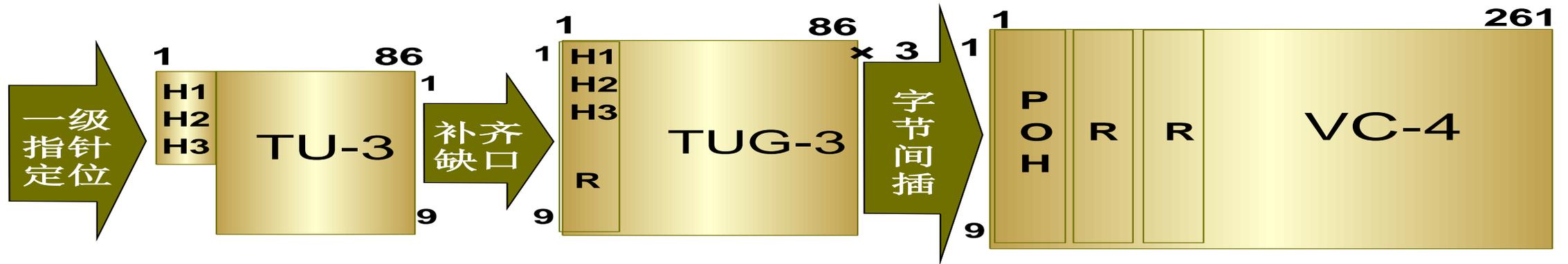
- AU-4——管理单元4，与VC-4相对应的信息结构
- 复用路线140M—C-4—VC-4—AU-4—STM-1，所以STM-1仅能复用进一路140M信号

34M复用步骤



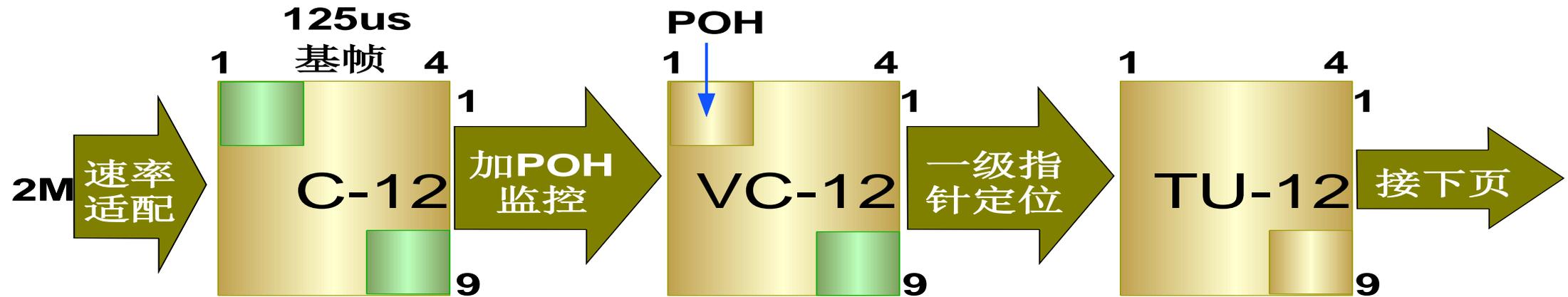
- C-3——容器3；与34M相对应的标准信息结构，完成速率适配功能。
- VC-3——虚容器3；与C-3相对应的标准信息结构，完成对装载的34M信号进行实时的性能监控。

34M复用步骤



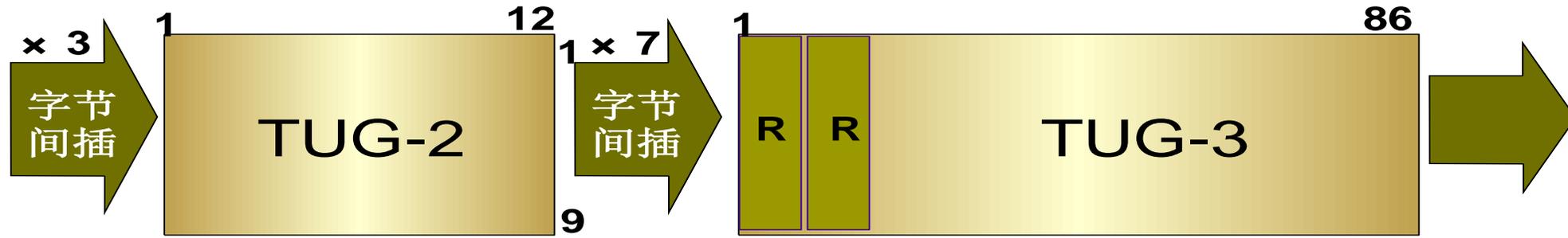
- TU-3——支路单元3；与VC-3相对应的标准信息结构，完成一级指针定位。
- TUG-3——支路单元组3；与TU-3相对应的标准信息结构。
- 复用路线34M—C-3—VC-3—TU-3—TUG-3；3TUG-3—VC-4—STM-1；所以STM-1仅能复用进3路34M。

2M复用步骤



- C-12——容器12；与2M相对应的标准信息结构，完成2M信号速率适配，4个基帧组成一复帧。
- VC-12——虚容器12；与2M相对应的标准信息结构，完成对某路2M信号实时监控。
- TU-12——支路单元12；与VC-12相对应的标准信息结构，完成对VC-12的一级指针定位。

2M复用步骤

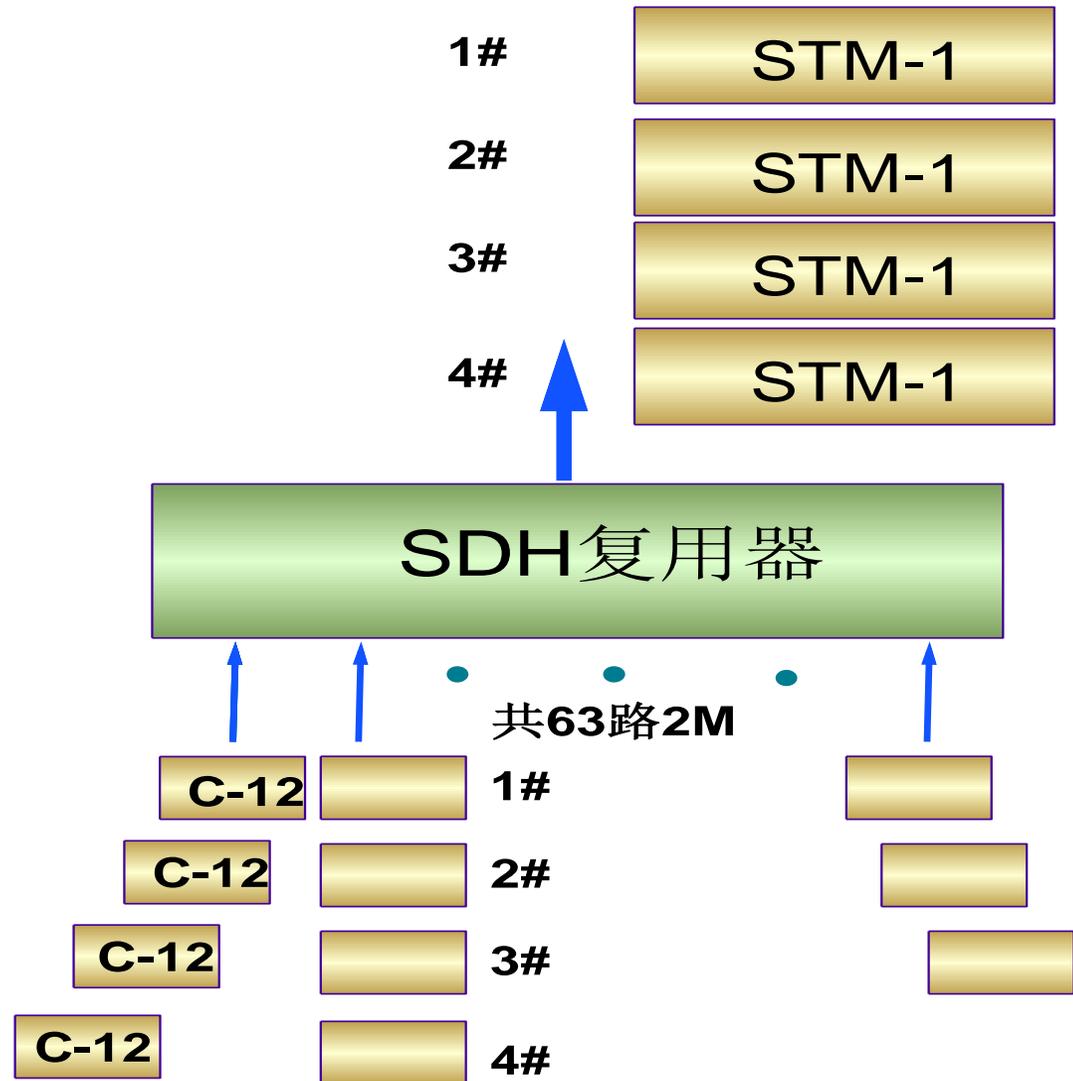


- TUG-2——支路单元组2； TUG-3——支路单元组3。
- 2M—C-12—VC-12—TU-12； 3TU-12—TUG-2； 7TUG-2—TUG-3； 3TUG-3—VC-4—STM-1。
- STM-1可装入 $3 \times 7 \times 3 = 63$ 个2M信号。2M复用结构是3-7-3结构。

2M复用步骤

◆ 复帧的概念

- 4个C-12基帧组成一个复帧。
- 基帧、复帧装入的是同一路2M信号。
- 基帧装入2M信号的125us时间段的信息；复帧装入2M信号500us时间段的信息



时隙的两种编号方式：

- 时隙编号： $VC-12\text{序号} = TUG-3\text{编号} + (TUG-2\text{编号}-1) \times 3 + (TU-12\text{编号}-1) \times 21$

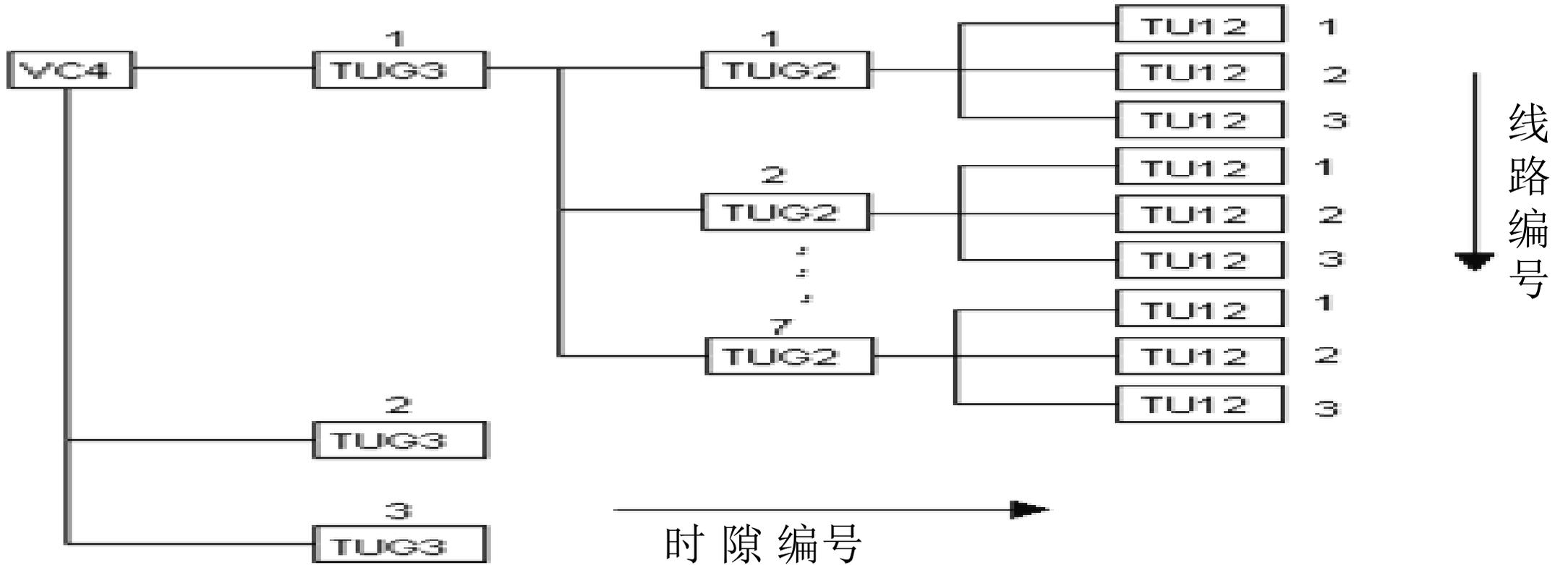
从第一个VC12的第一个TUG-2开始，在同一个TUG-2内按字节间插的复用方式将相邻的TUG-3业务顺序编号的方式。

采用该方式，网管上称为顺序方式

- 线路编号： $VC-12\text{序号} = (TUG-3\text{编号}-1) \times 21 + (TUG-2\text{编号}-1) \times 3 + TU-12\text{编号}$

从第一个TUG-3的第一个TUG-2开始，将同一个TUG-2内的VC12业务顺序编号的方式。网管上称为间插方式。

时隙的两种编号方式:



小结

本节我们主要学习了：

STM-N的帧结构和帧各部分的作用

PDH复用进STM-N帧的方式

内容介绍

第1章 SDH概述

第2章 SDH信号帧结构和复用步骤

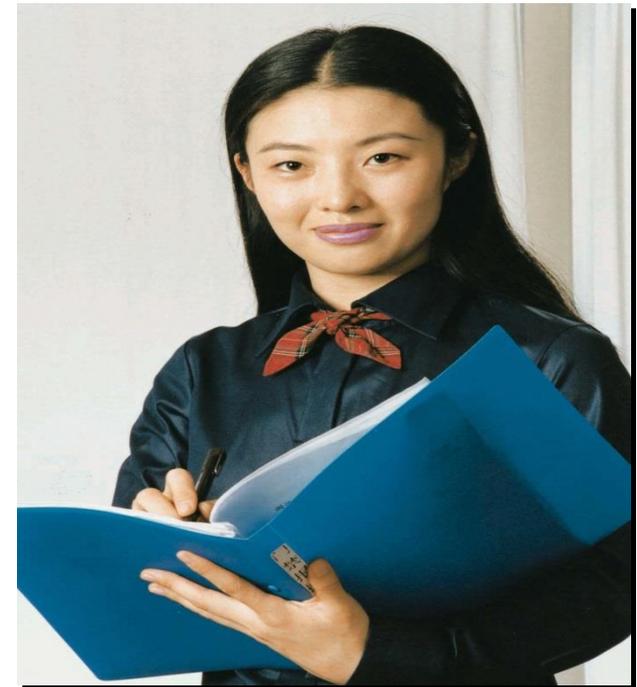
第3章 开销和指针

第4章 设备的逻辑功能块构成



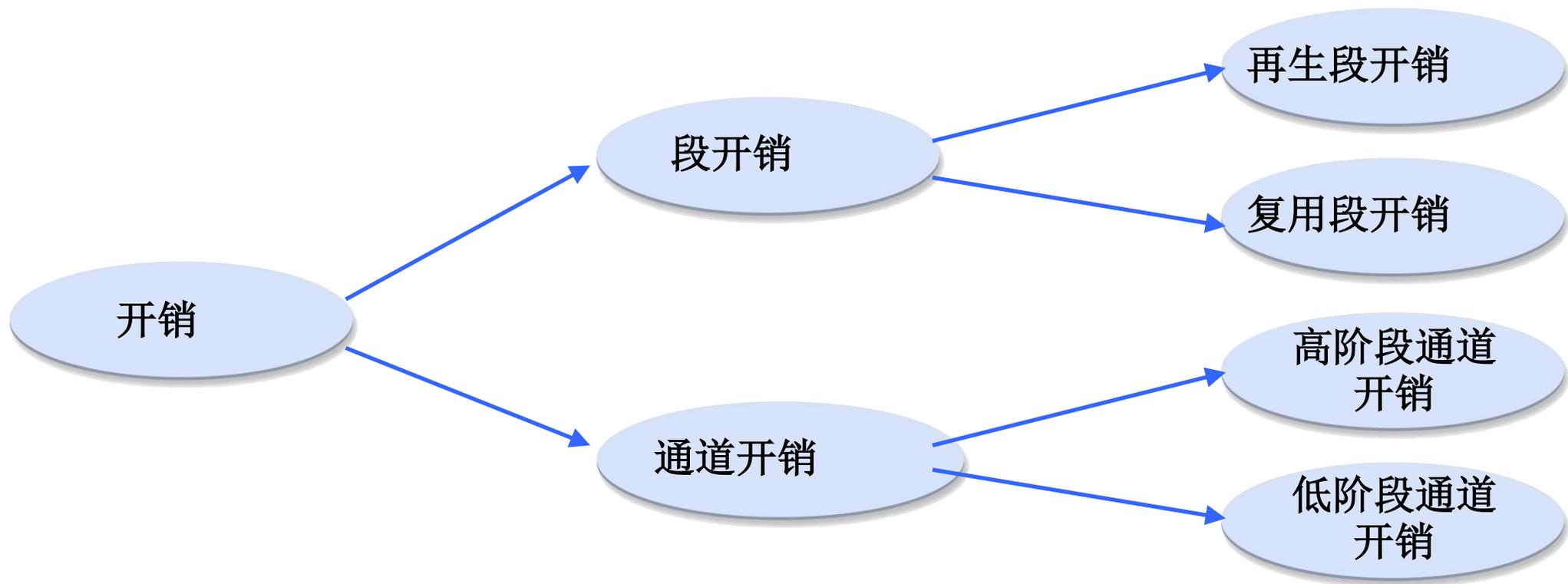
开销和指针

- SDH监控的实现——开销
 - 段开销——RSOH、MSOH
 - 通道开销——HPOH、LPOH
- 指针
 - 管理单元指针——AU-PTR
 - 支路单元指针——TU-PTR

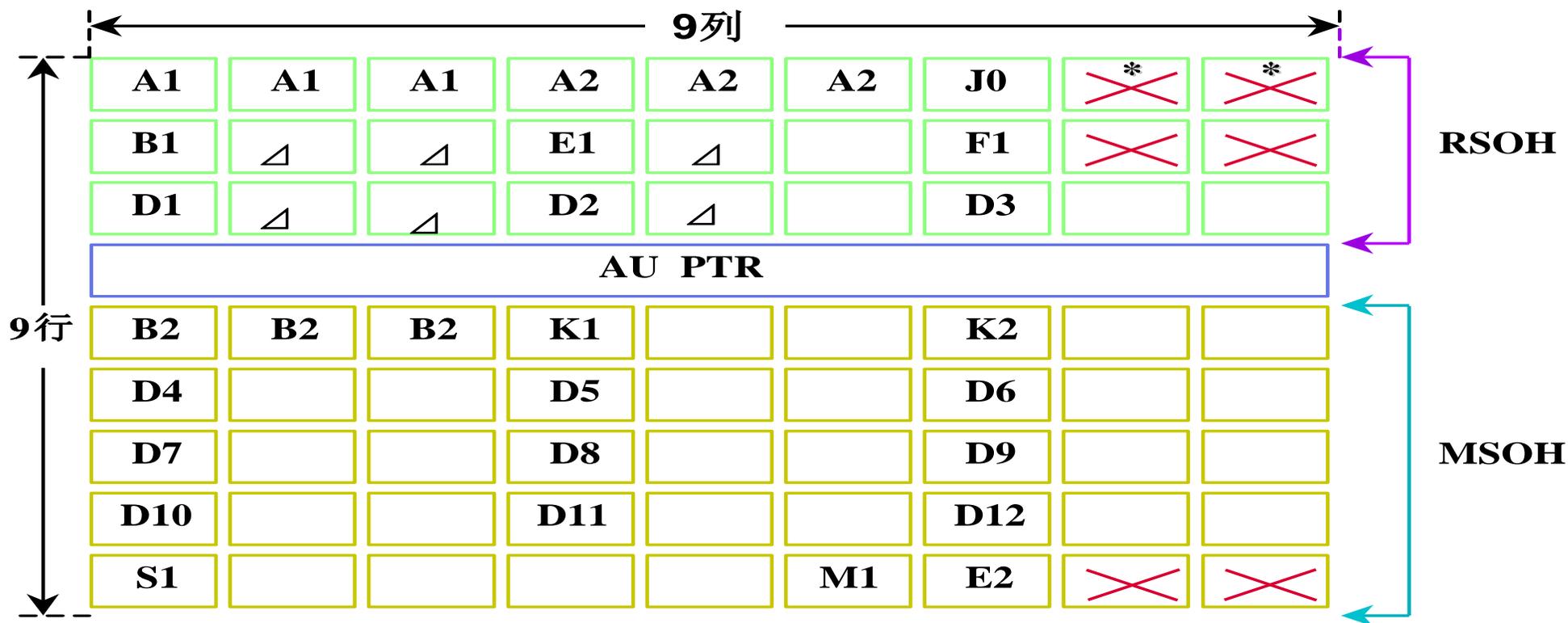


开销

- RSOH、MSOH、HPOH、LPOH完成层层细化的监控功能。



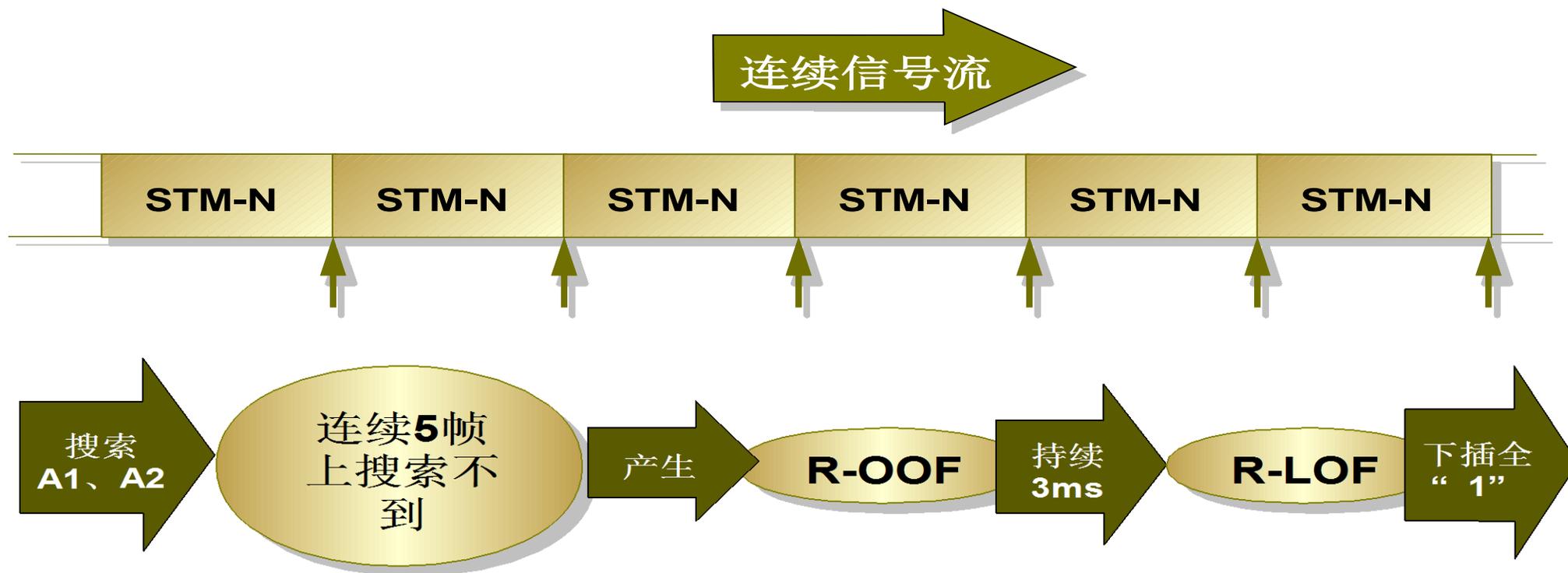
开销



- 国内使用保留字节
- * 不扰码，应注意其内容
- △ 传输媒质指示字节

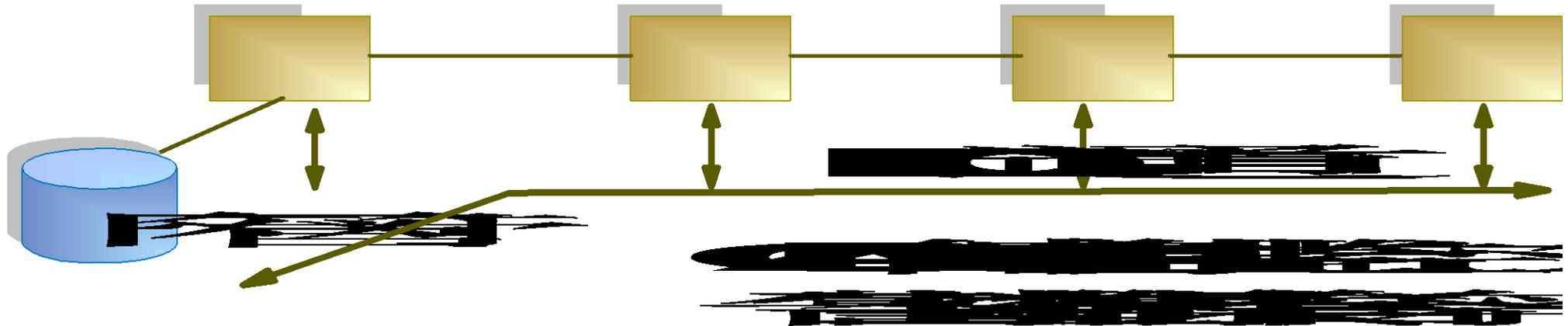
开销

- 定帧字节：A1、A2
 - 寻找连续信号流的帧头
 - A1=f6H、A2=28H



开销

- 数字通信通路(DCC)字节: D1~D12
 - 网元网管之间、网元和网元之间OAM信息通路
 - D1~D3用于再生段(DCCR), 带宽 $3 \times 64\text{kb/s}$
 - D4~D12用于复用段(DCCM), 带宽 $9 \times 64\text{kb/s}$



开销

- 公务联络字节：E1、E2
 1. 光纤连通业务未通或业务已通时各站间的公务联络
 2. 分别提供1个64kb/s数字电话通路
 3. E1用于再生段公务联络
 4. E2用于复用段公务联络
- 再生段误码监测B1字节
 1. 对再生段信号流进行监控
 2. 方式为BIP8偶校验
 3. BIP8偶校验工作机理：
 4. 以8bit为单位(一个字节为单位)
 - 校验相应bit列（bit块）
 - 使相应列1的个数为偶



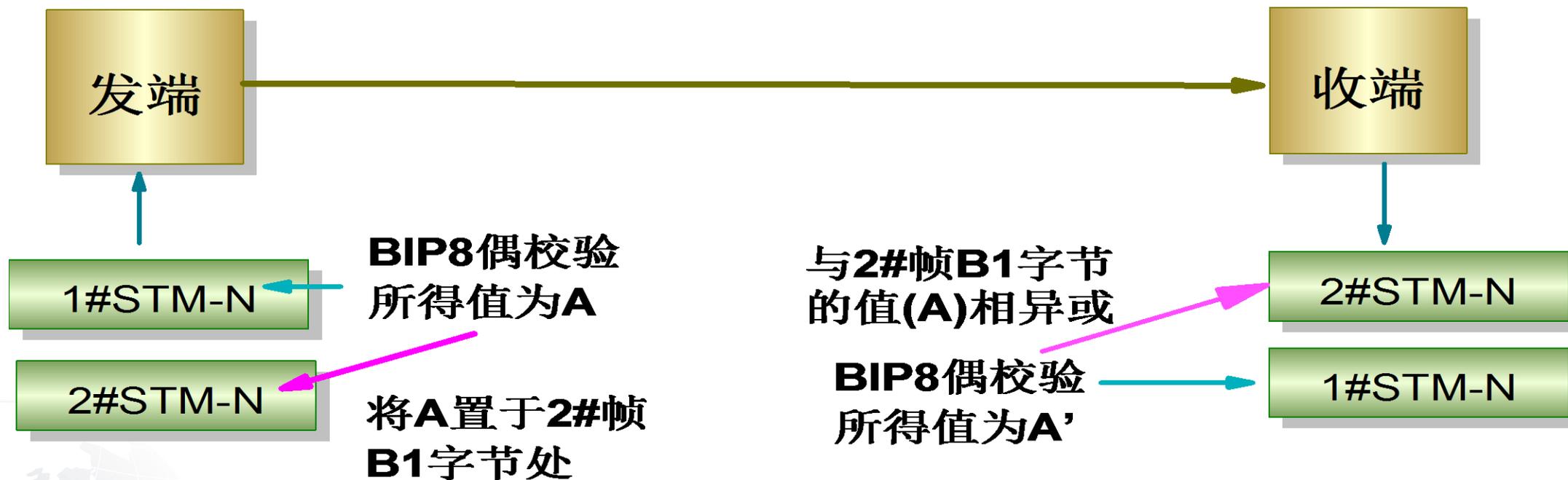
开销

- B1字节工作机理
 - 发端对上一个已扰码帧(1#STM-N)进行BIP8偶校验，所得值放于本帧(2#STM-N)的B1字节处
 - 收端对所收当前未解扰帧(1#STM-N)进行BIP8偶校验，所得值B1' 与所收下一帧解扰后(2#STM-N)的B1字节相异或
 - 异或的值为零则表示传输无误码块，有多少个1则表示出现多少个误码块
 - 若收端检测到B1误码块，在收端RS-BBE性能事件中反映出来

例：某信号一帧有4个字节，对其进行BIP8偶校验如图：

BIP-8	A1	00110011
	A2	11001100
	A3	10101010
	A4	00001111
<hr/>		
	B	01011010

开销



开销

- 复用段误码监测B2字节
 1. 对复用段信号流进行监控
 2. 方式为BIP24偶校验
 3. BIP24偶校验工作机理:
 - 校验相应bit列 (bit块)
 - 使相应列1的个数为偶
 4. 以24bit为单位 (3个字节为单位, STM-1帧有3个B2字节)



开销

- B2字节工作机理

- 发端对上一个未扰码帧除去RSOH外的所有字节进行BIP24偶校验，所得值放于本帧的3个B2字节处
- 收端对所收当前已解扰帧且除去RSOH外的所有字节进行BIP24偶校验，所得值B2与所收下一帧解扰后的B2字节相异或
- 异或的值为零则表示传输可能无误码块
- 异或的值不为零，则1的数目表示出现多少个误码块
- 若收端检测到B2误码块，在收端MS-BBE性能事件中反映出来

例：某信号一帧有9个字节，对其进行BIP24偶校验如图：

	11001100	11001100	11001100
BIP24	01011101	01011101	01011101
	11110000	11110000	11110000
	01100001	01100001	01100001

开销

- 复用段远端误块指示字节——M1
 - 对告信息，由信宿回传到信源
 - 告知发端：收端当前收到的B2检测的误块数；并在发端上报MS-FEBBE性能事件
 - 同时在发端有MS-REI（复用段远端误块指示）告警事件上报

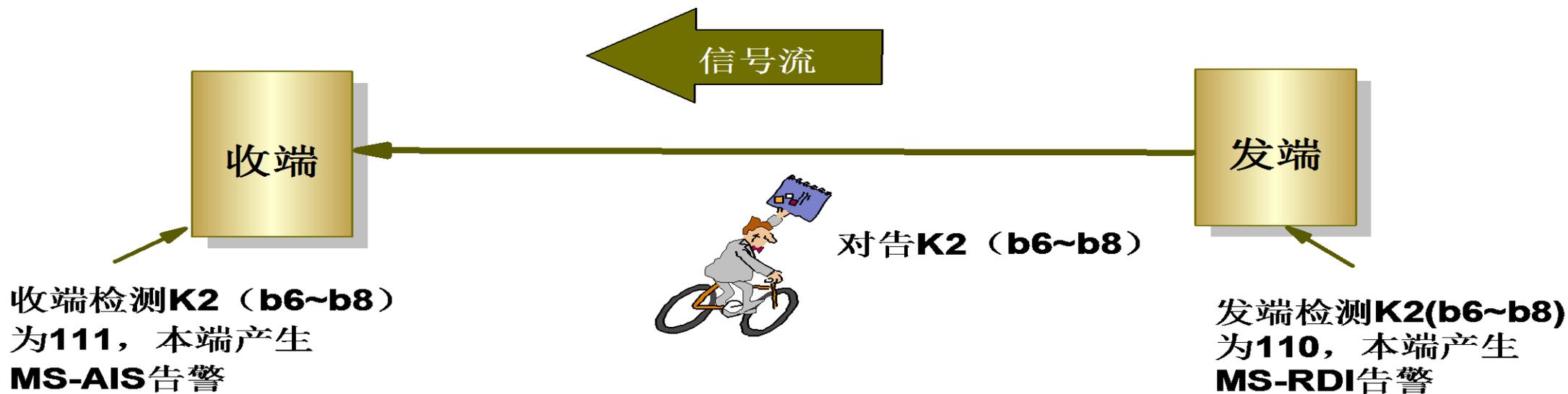


开销

- 自动保护倒换(APS)通路字节——K1、K2
 - 传送自动保护倒换信令，使网络具备自愈功能
 - 用于复用段保护倒换情况
- 其中K2(b6~b8)可以用于指示复用段告警
 - b6~b8=111，表示收到复用段全1信号，本端产生MS-AIS告警
 - b6~b8=110，表示收到对告信息MS-RDI，表示对端收信号失效(R-LOS、R-LOF、MS-AIS等)



开销



段开销—S1

- 同步状态字节S1（b5~b8）
 - 用于表示各时钟源的时钟质量，并可用于时钟源保护倒换
 - 值越小，表示时钟源质量越高
- RSOH、MSOH完成了段层的层层细化的监控功能

注：字节间插复用时，各STM-1帧的 AU-PTR和PAYLOAD的所有字节原封不动间插，而段开销有所不同。只有第一个STM-1的段开销被保留，其余N-1个STM-1的段开销中仅保留A1,A2,B2字节,其余均略去。

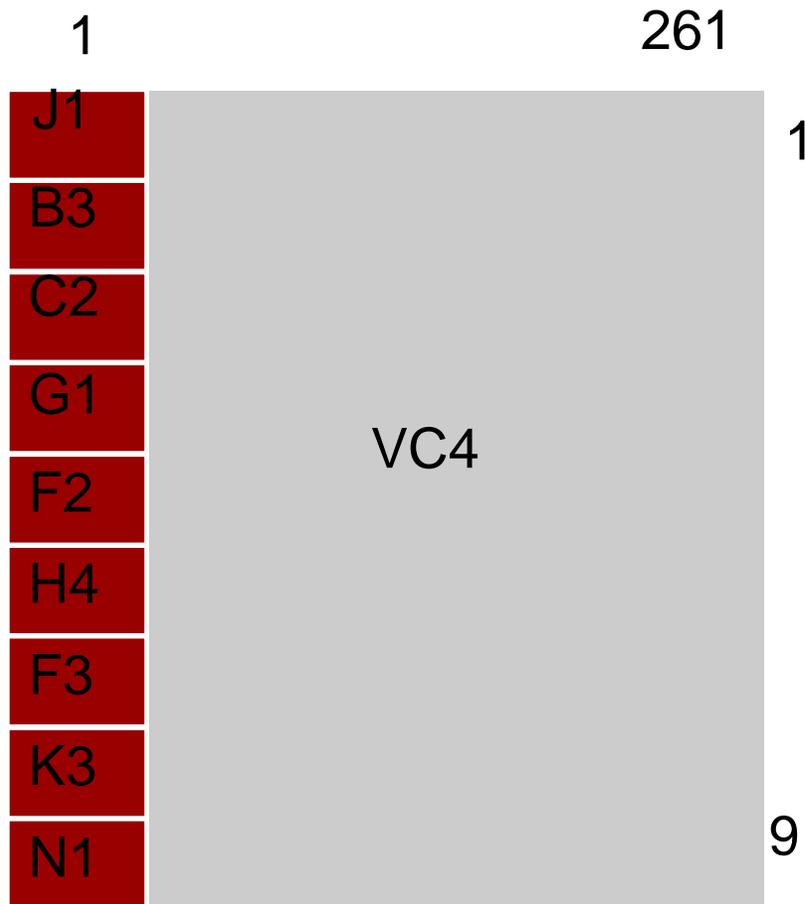
通道开销

- 分类
 1. 低阶通道开销——VC-12
 2. 高阶通道开销——VC-4

- 区别
 1. 宏观和微观
 2. 包容和被包容



高阶通道开销



- 高阶通道开销
 - J1 通道踪迹字节
 - B3 通道BIP-8字节
 - C2 信号标识字节
 - G1 通道状态字节
 - F2、F3 通道使用者通路
 - H4 复帧位置指示器
 - K3(b1~b4) 自动保护倒换(APS)通路
 - N1 网络运营者字节
 - K3(b5~b8) 备用比特
- VC3的开销结构和VC4开销结构相同

高阶通道开销—J1

- 通道踪迹字节：J1
 - VC-4的首字节，即AU-PTR所指的字节
 - 发端持续的发此字节——高阶通道接入点标识符，使收端能具此确认于指定发端处于持续连接状态。
 - J1字节设置要求：收发相匹配。即设备实际收的值=设备应收的值
 - 公司SDH设备J1字节值默认为：xx
 - 收端检测到J1失配，相应通道（VC-4）产生HP-TIM告警。

高阶通道开销—B3

- 高阶通道误码监测字节：B3
 - 监测高阶VC的误码性能
 - 监测方式BIP-8偶校验
- 机理类似于B1、B2
 - 本端监测到相应VC通道B3误块，在相应通道的性能事件HP-BBE中反映出来

高阶通道开销—C2

信号标记字节：C2

- 指示VC帧的复接结构和信息净负荷的性质
- 要求收发相匹配，失配则本端相应VC-4通道产生HP-SLM告警，并可能往下级信息结构C-4下插全“1”
- C2=00H表示该VC-4未装载，本端产生HP-UNEQ告警，并可能往下级信息结构C-4插全“1”
- 设置设备时要求：VC-4装载2M设为TUG结构，34M设为TUG结构，140M设为140M结构。

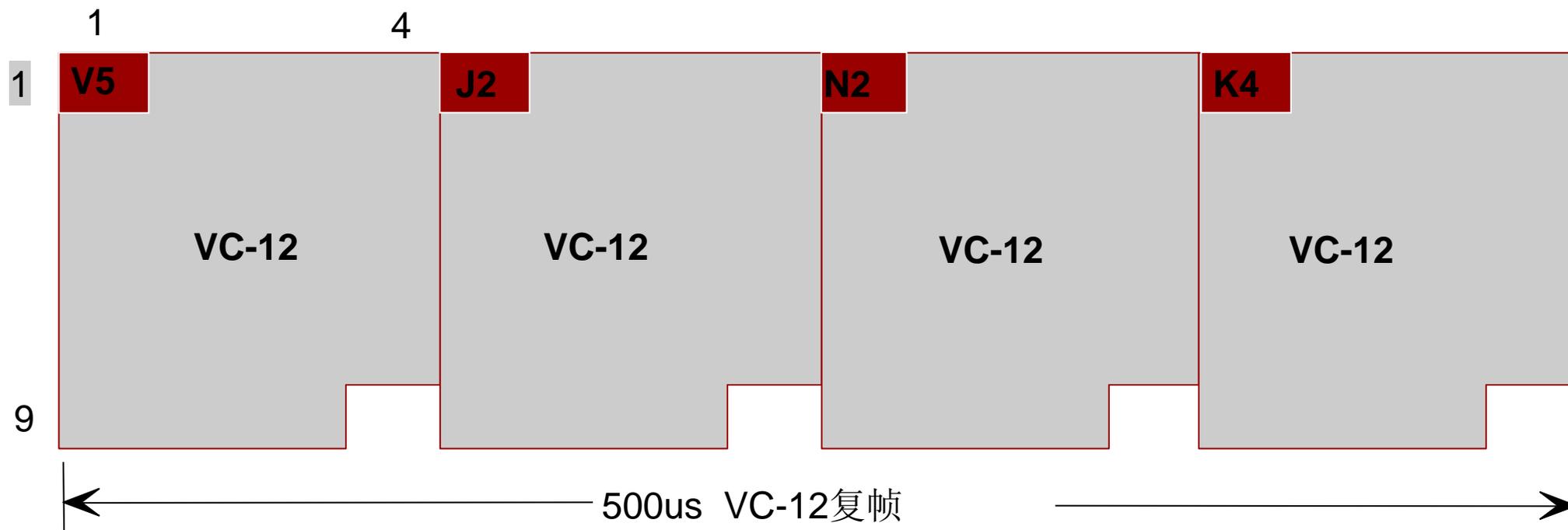
高阶通道开销—G1

- 通道状态字节：G1
 - 反映高阶VC传输的状态
 - 对告信息：信宿反馈给信源，以便使信源知道信宿当前的接收状态
 - b1~b4：回传由B3检测的误码块数。发端上报性能事件 HP-FEBBE及告警HP-REI
 - b5：收端检测到AU-AIS、J1和C2失配、VC-4未装载，在相应VC-4通道上由b5回传，在发端上报HP-RDI告警

高阶通道开销—H4

- TU位置指示字节：H4
 - 指示有效负荷的复帧类别和净负荷的位置
 - PDH复用进SDH时，H4字节仅对2M信号有意义。指示当前帧是复帧的第几个基帧，以便收端据此找到TU-PTR，拆分出2M信号
 - H4的范围00H~03H
 - 若收端收到的H4字节超出此范围，或不是预期值，本端在相应通道产生HP-LOM(复帧丢失)告警，并在相应通道的下级信息结构插全“1”

低阶通道开销



低阶通道开销—V5

- 通道状态和信号标记字节：V5(类似G1和C2字节)
 - 复帧中的第一个字节，TU-PTR所指示的字节
 - VC-12误码监测、VC-12通道状态对告、信号标记
 - b1~b2: BIP2误码监测→LP-BBE
 - b3: 收端接收误码情况对告指示→LP-REI
 - b4: 远端故障指示→LP-RFI
 - b5~b7: 信号标记；若为000，本端相应通道产生LP-UNEQ告警
 - b8: 本端接收到TU-AIS、LP-TIM、LP-SLM时，通过b8反馈给发端相应通道上LP-RDI告警信号

指针

- 分类
 - AU-PTR——定位VC-4在AU-4中的位置
 - TU-PTR——定位VC-12在TU-12中的位置
 - 与定帧字节一起完成从高速信号STM-N中直接下低速信号

指针

AU-PTR

TU-PTR

管理单元指针—AU-PTR

- 管理单元指针——AU-PTR
 - 主要由H1、H2、H3H3H3组成
 - 指针值H1、H2后10bit
 - 指针范围0~782
 - H3H3H3为调整单位——3个字节
 - VC-4和AU-4无频差相差，AU-PTR的值为522.
 - 若收H1H2为全“1”，本端产生AU-AIS告警
 - 若收指针值超出允许范围，或连续收到8帧以上NDF，则本端在相应通道上产生AU-LOP告警，下插全“1”
 - 指针调整间隔为3帧



支路单元指针—TU-PTR

- 支路单元指针——TU-PTR
 - V1、V2、V3、V4 4个字节
 - 指针值V1、V2后10bit
 - 指针范围0~139
 - V3为调整单位——1字节
 - 若收V1、V2为全“1”，本端产生TU-AIS告警
 - 若收指针值超出允许范围，或连续收到8帧以上NDF，则本端在相应通道上产生TU-LOP告警，下插全“1”
 - VC-12和TU-12无频差,V5字节的位置是70。



小结

本节我们主要学习了：

SDH监控的实现——开销

- 段开销——RSOH、MSOH
- 通道开销——HPOH、LPOH

指针

- 管理单元指针——AU-PTR
- 支路单元指针——TU-PTR

内容介绍

第1章 SDH概述

第2章 SDH信号帧结构和复用步骤

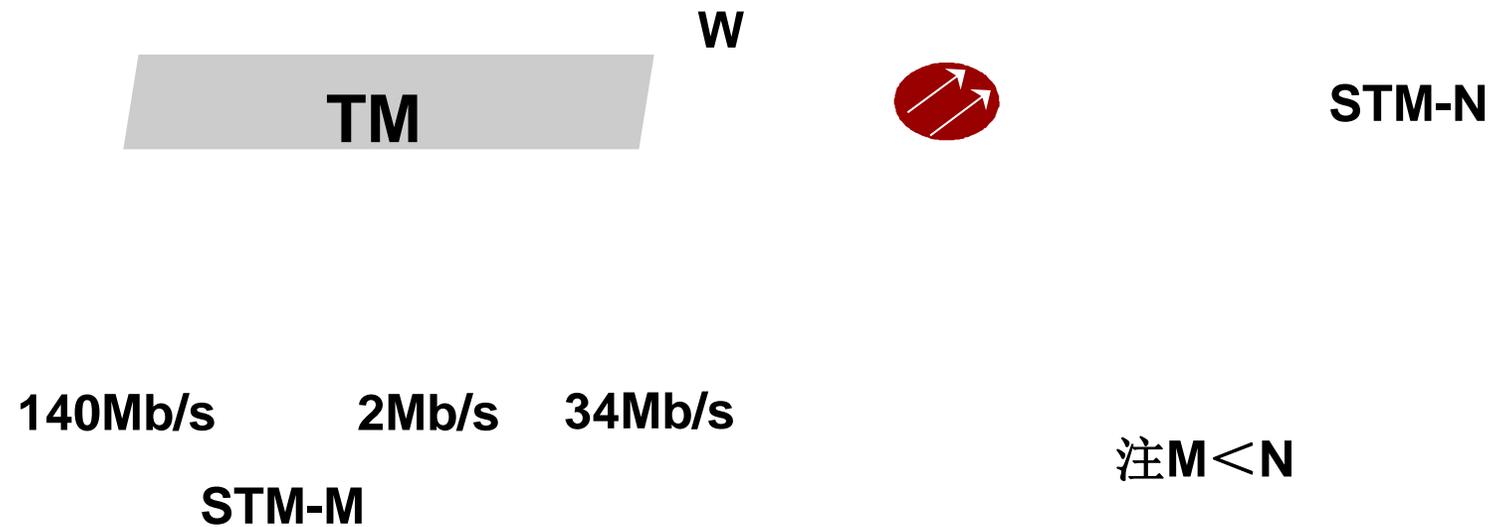
第3章 开销和指针

第4章 设备的逻辑功能块构成



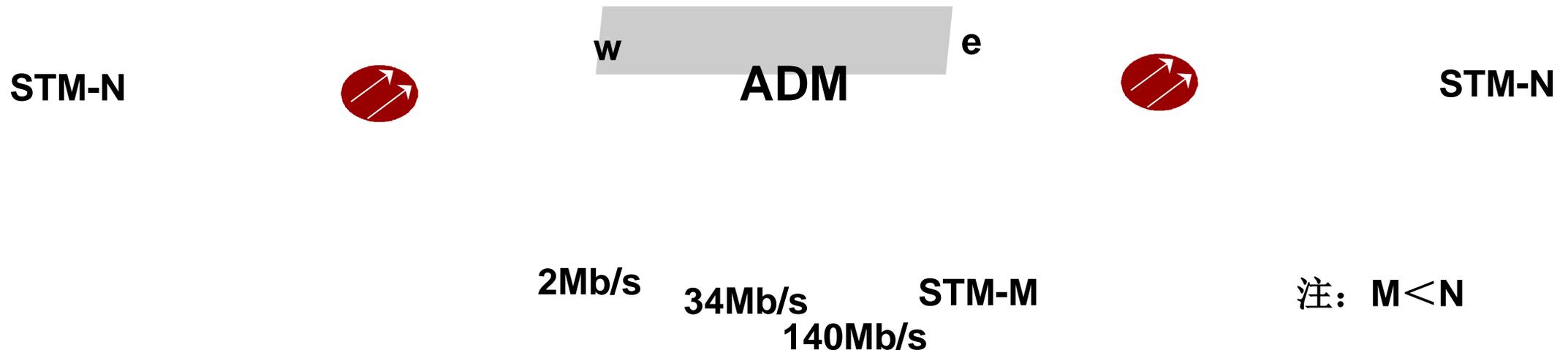
终端复用器—TM

- 终端复用器——TM
 - 双端口器件，用于端点站。群路端口默认为w
 - 交叉复用功能
 - 作用TU——LU



插/分复用器—ADM

- 插/分复用器—ADM
- 三端口器件，用于节点站。群路端口默认为：左w、右e
- 交叉复用功能
- 作用LU(w)—TU—LU(e)、LU(w)—LU(e)
- 最常用网元，可等效其他网元



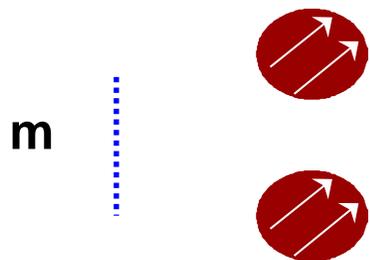
再生中继器—REG

- 再生中继器——REG（电）
- 双端口器件，用于节点站。群路端口默认为：左w、右e
- 不需交叉复用功能
- 功能：O/E、抽样、判决、再生整形、E/O；使线路噪声不积累

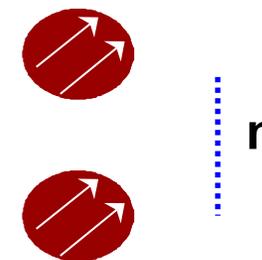


数字交叉连接设备—DXC

- 数字交叉连接设备——DXC
 - 多端口器件，用于重要节点站，提供强大的交叉能力。
 - 以m/n表征其特点

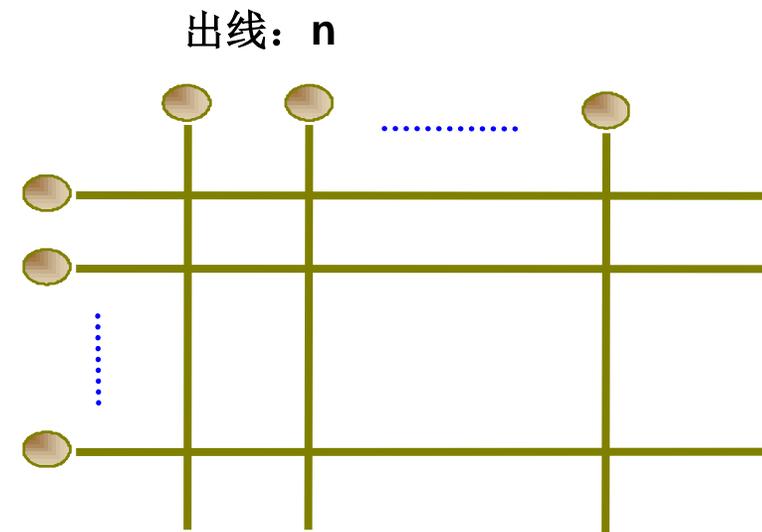


DXC



等效为

入线: m

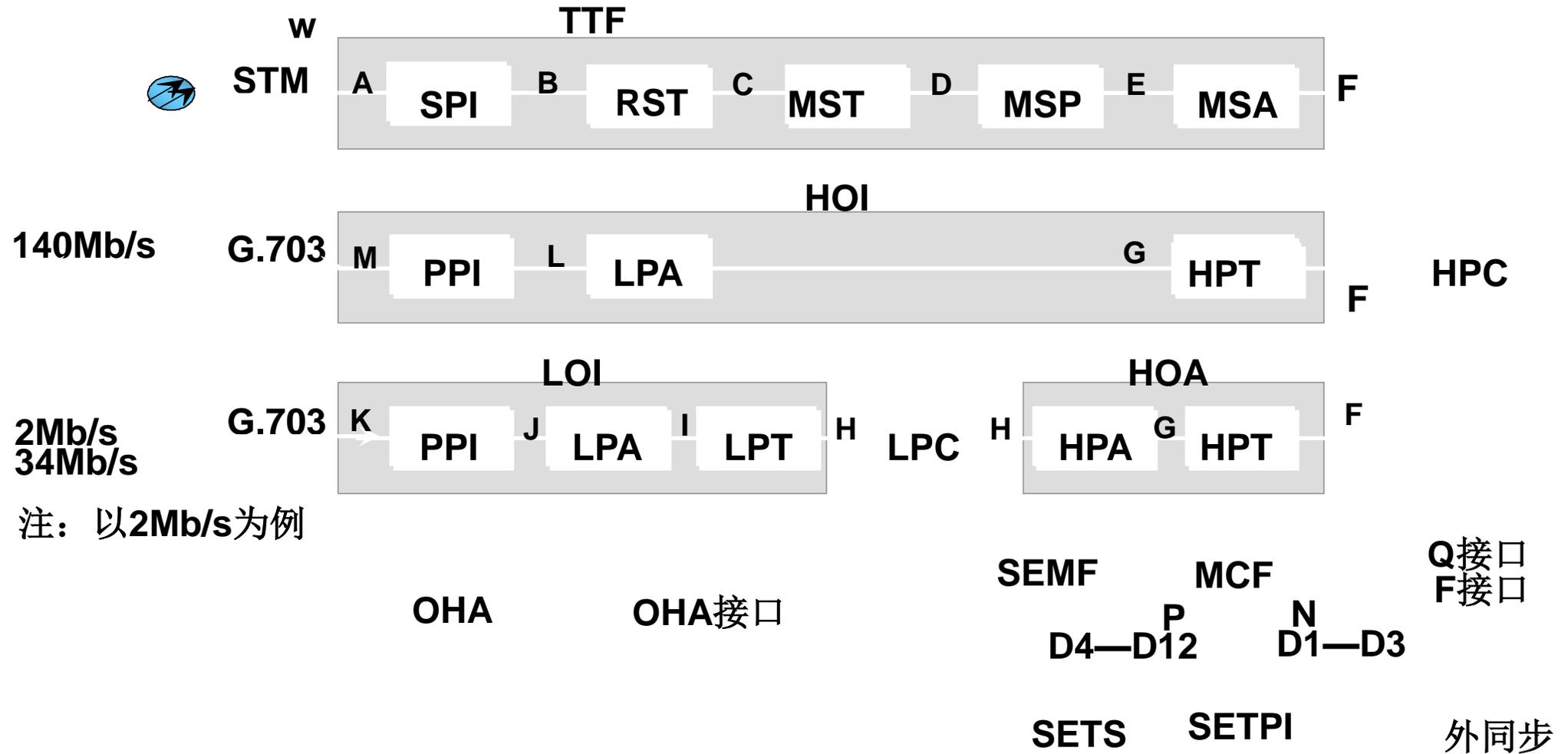


逻辑功能块

- 产生背景
 - SDH设备统一的接口
 - 不同厂家的实现的方式千差万别
 - ITU-T规定统一的基本功能块标准
- 讲述方式
 - 以整个系统的角度讲述
 - 重点讲述各个功能块的告警、性能监测机理



TM设备的典型功能块的组成



注：以2Mb/s为例

同步设备物理接口功能块—SPI

SPI同步设备物
理接口

收方向
A→B

发方向
B→A

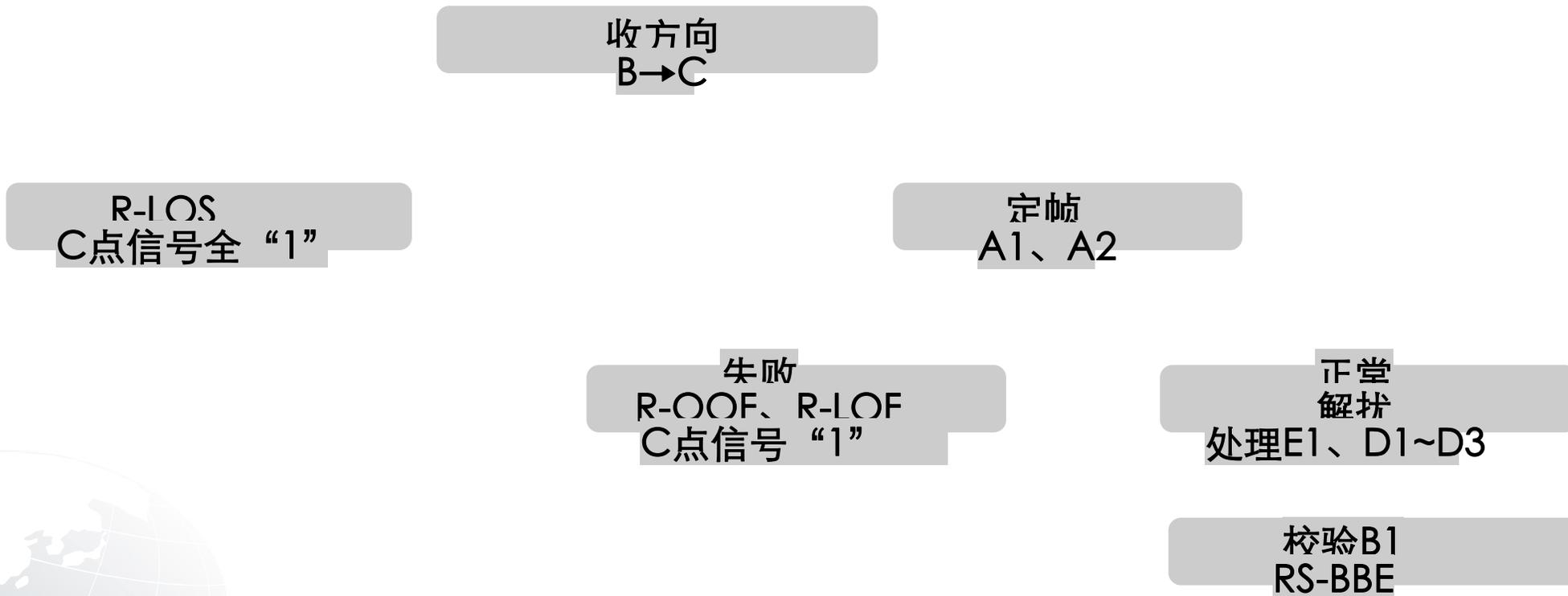


O/E
提取线路定时

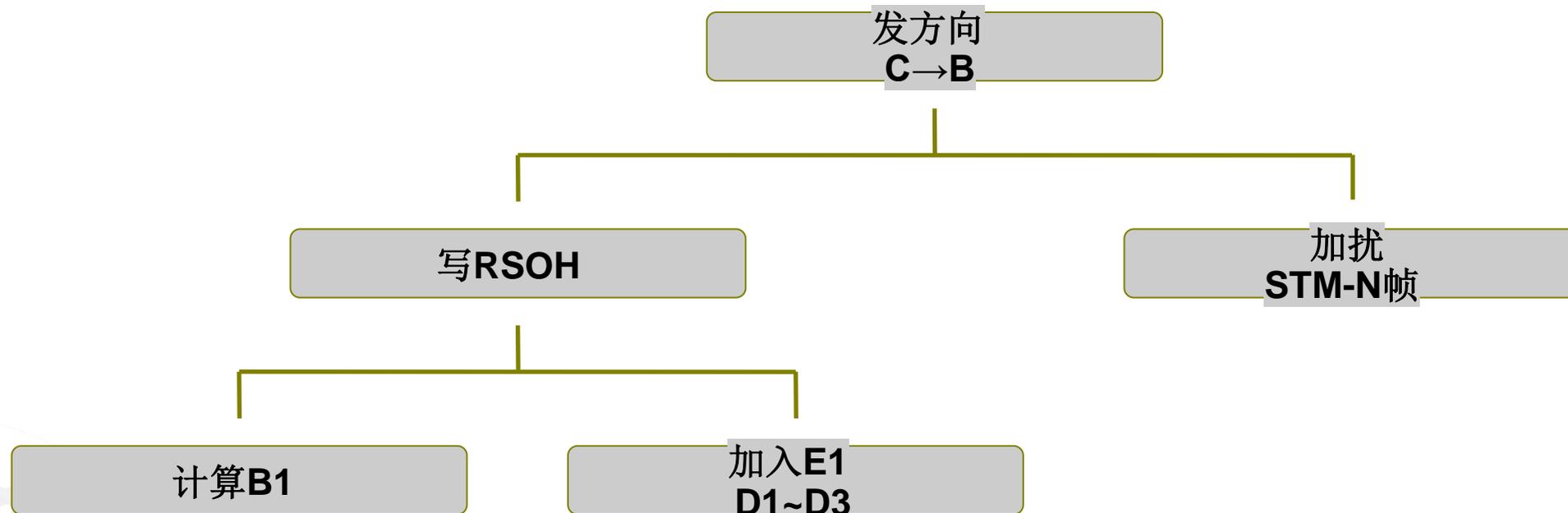
失效
R-LOS

E/O变换

再生段终端功能块—RST

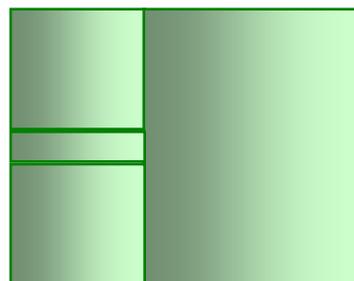


再生段终端功能块—RST

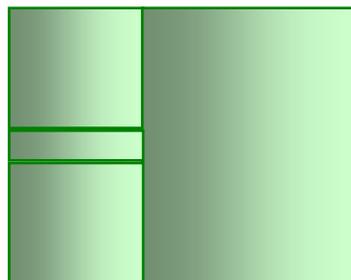


再生段终端功能块—RST

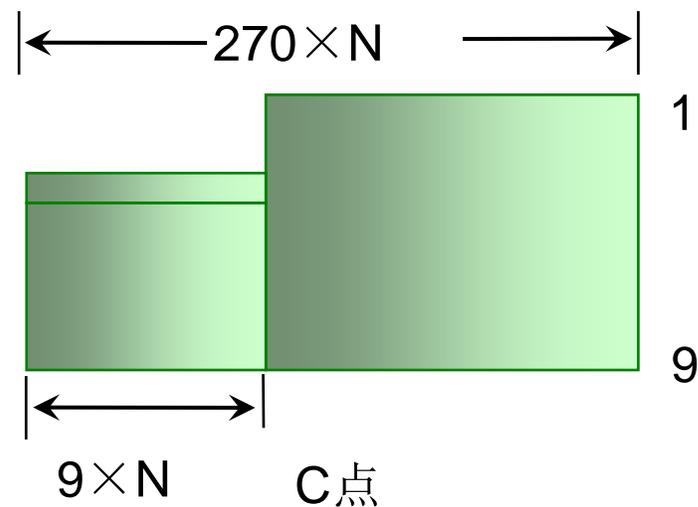
◆ A、B、C点信号帧结构



STM-N光信号
A点



STM-N电信号
B点



复用段终端功能块—MST

收方向
C→D

提取APS信令
K1、K2 (b1~b5)

检测K2 (b6~b8)

检测B2



110
MS-RDI

111
MS-AIS
D点信号 “1”

不符
MS-BBE

超限
MS-EXC (B2-OVER)
D点信号 “1”

复用段终端功能块—MST



发方向
D→C

写MSOH

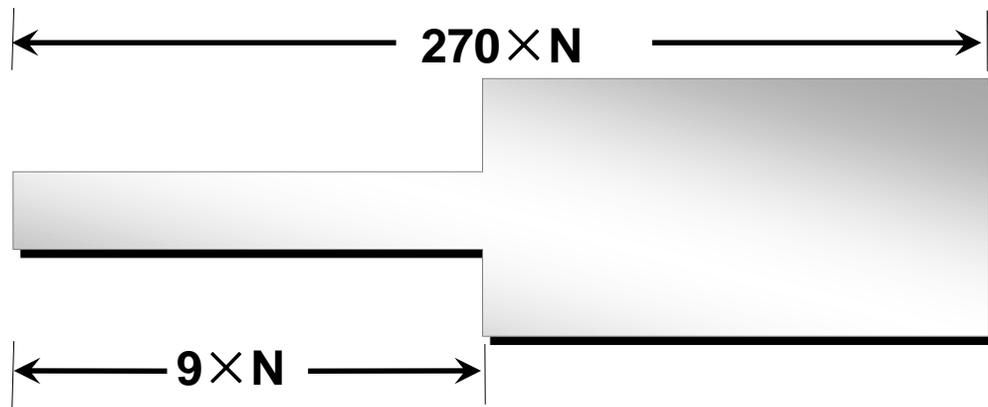
M1→MS-REI
收端有MS-BBE时

K2→110
MS-RDI
收端有MS-AIS时



复用段终端功能块—MST

◆ D点信号帧结构



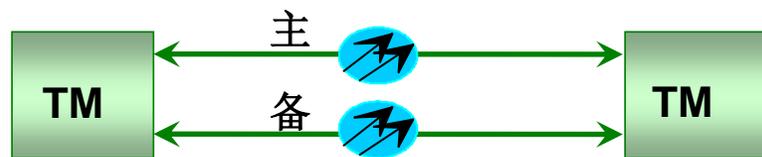
◆ 再生段和复用段的区别



复用段保护功能块—MSP

- MSP:复用段保护功能块
 - 进行复用段保护倒换
 - 启动条件: R-LOS、R-LOF、MS-AIS
 - 不倒换时, 信号透明传输
 - 1+1、1: 1、1: n

设备模型为:



功能块模型为:



复用段适配功能块—MSA



收方向
E→F

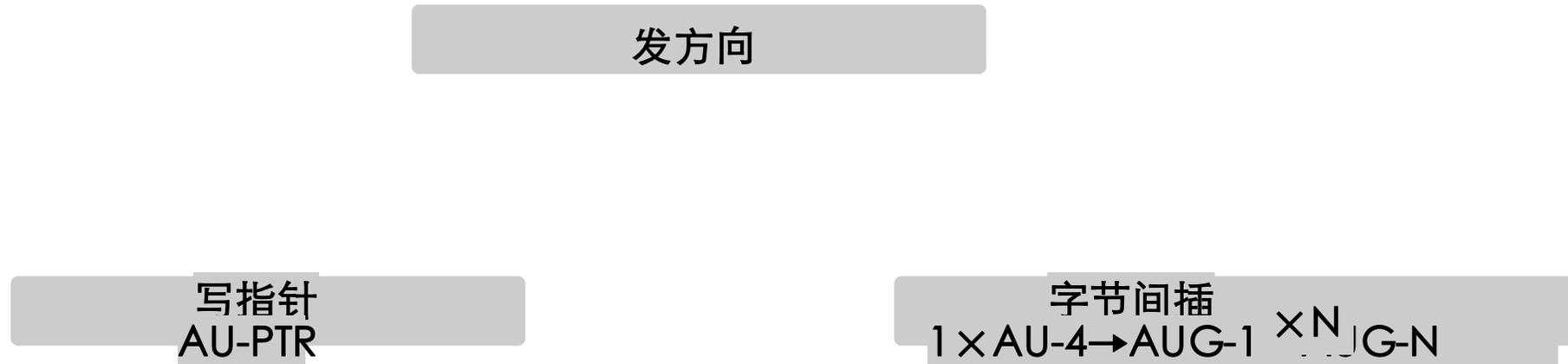
消间插
AUG-N → N×AU-4

解读指针
AU-PTR

H1H2H3全“1”
AU-AIS
F点信号全“1”

无效指针
8个NDF
AU-LOP→F“1”

复用段适配功能块—MSA



- SPI、RST、MST、MSP、MSA组成复合功能块TTF
- STM-N光信号—— $N \times \text{VC-4}$

基本逻辑功能块

- HPC: 高阶通道连接功能块
 - 对VC-4的交叉矩阵
 - 仅选择路由, 不处理信号
- HPT: 高阶通道终端
 - HPOH源和宿
 - 对高阶VC-4进行实时监控



高阶通道终端功能块—HPT



收方向
F→G

检测B3
不符
HP-BBE

检测J1
失配HP-TIM
G点全“1”

检测C2
失配HP-SI M
C2=00H→HP-UNEQ

H4传给
HPA

G点全“1”



高阶通道终端功能块—HPT



发方向
G→F

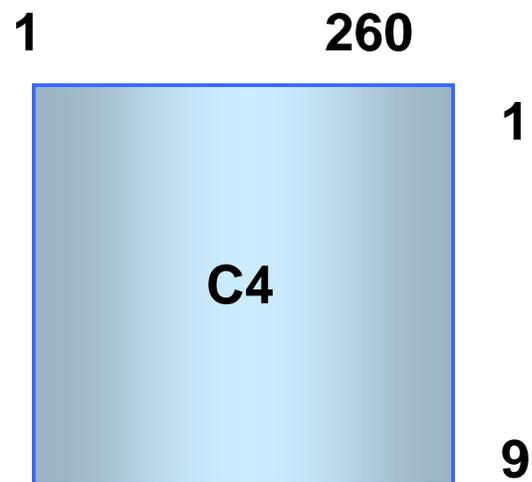
写HPOH

G1→HP-REI
HPFEBBE
收端有HP-BBE时

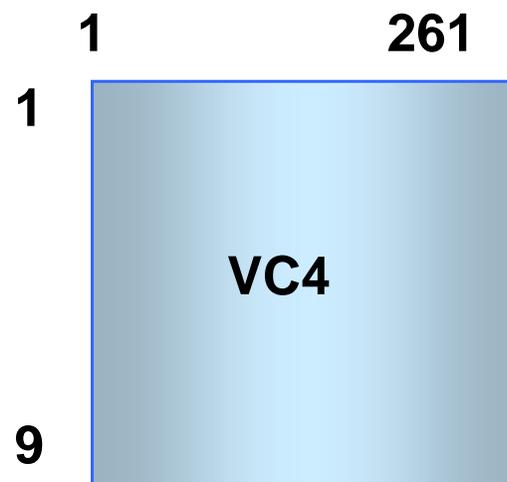
G1→HP-RDI
收端有HP-TIM、HP-SLM
HP-UNEQ时

高阶通道终端功能块—HPT

•G点信号帧结构



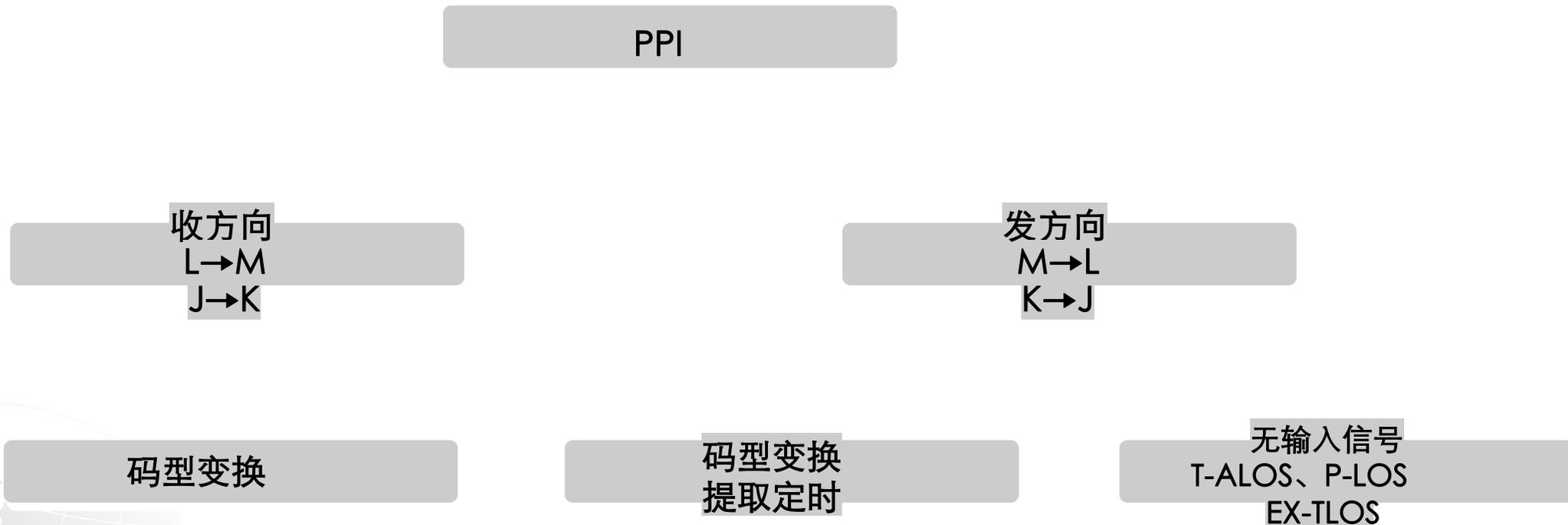
•F点信号帧结构



基本逻辑功能块

- LPA: 低阶通道适配功能块
 - 包封/拆包封: PDH—C
- PPI: PDH物理接口功能块
 - 设备与PDH线路接口
 - 提取PDH支路定时信号
 - 码型变换: NRZ—HDB3、NRZ—CMI

PDH物理接口功能块—PPI



高阶通道适配功能块—HPA

收方向
G→H

消间插
C-4→TU-12

处理指针
TU-PTR、TU-12→VC-12

V1V2V3 “1”
TU-AIS
H点全 “1”

无效指针
TU-LOP
H点全 “1”



高阶通道适配功能块—HPA



发方向
H→G

写指针
TU-PTR、VC-12→TU-12

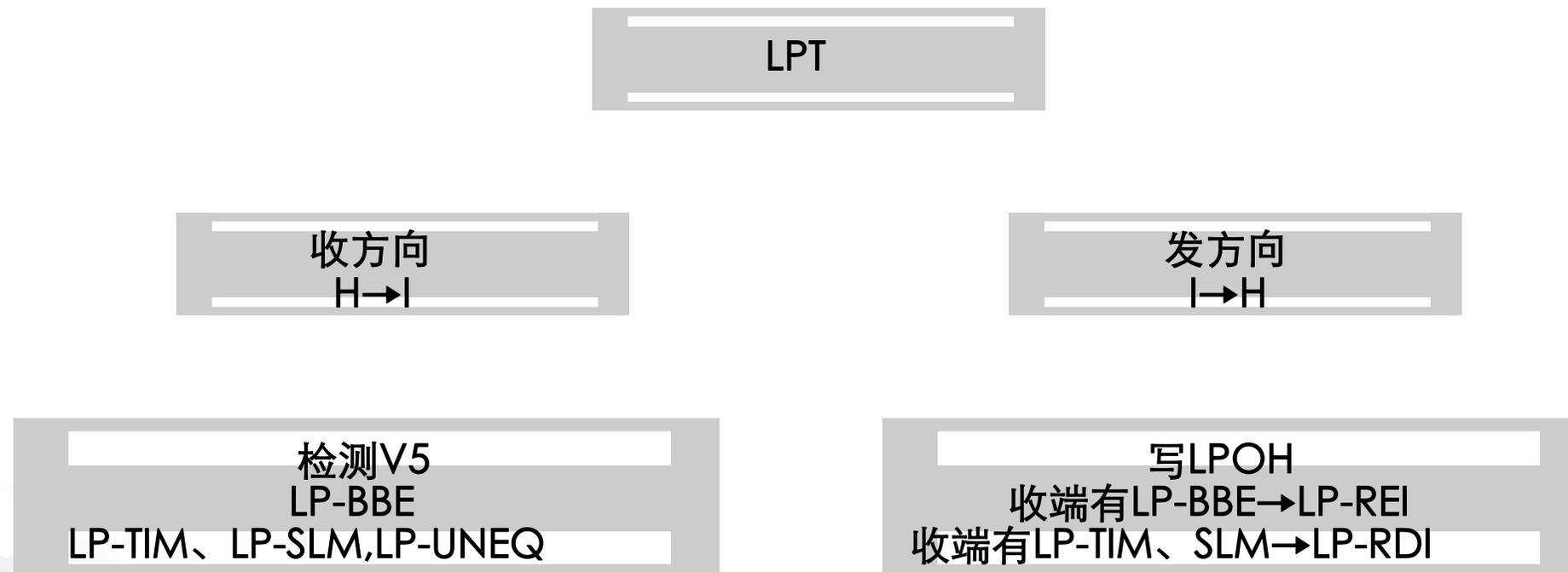
字节间插
TU-12→C-4



基本逻辑功能块

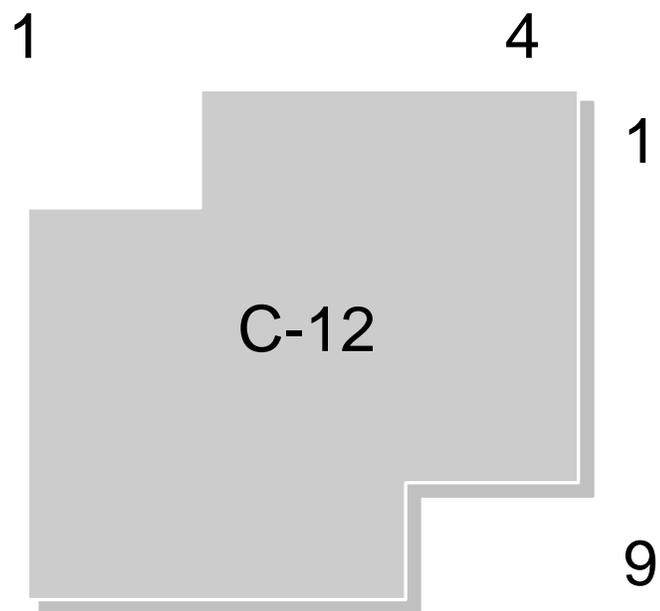
- HOI: 高阶接口功能块(HPT、LPA、PPI)
 - 140M—VC-4
- HOA: 高阶组装器(HPT、HPA)
 - VC-12—VC-4
- LPC: 低阶通道连接功能块
 - 对VC-12、VC-3的交叉矩阵
 - 仅选择路由, 不处理信号
- LPT: 低阶通道终端
 - LPOH源和宿
 - 对低阶VC-12进行实时监控

低阶通道终端功能块—LPT

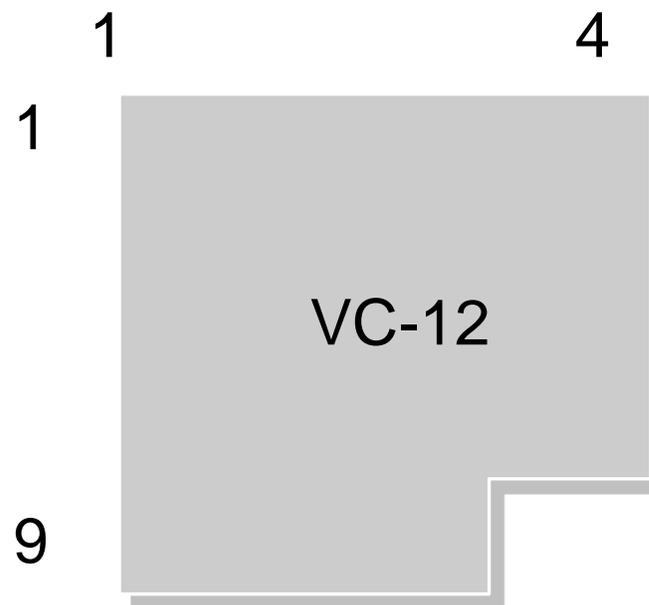


低阶通道终端功能块—LPT

•I点信号帧结构



•H点信号帧结构



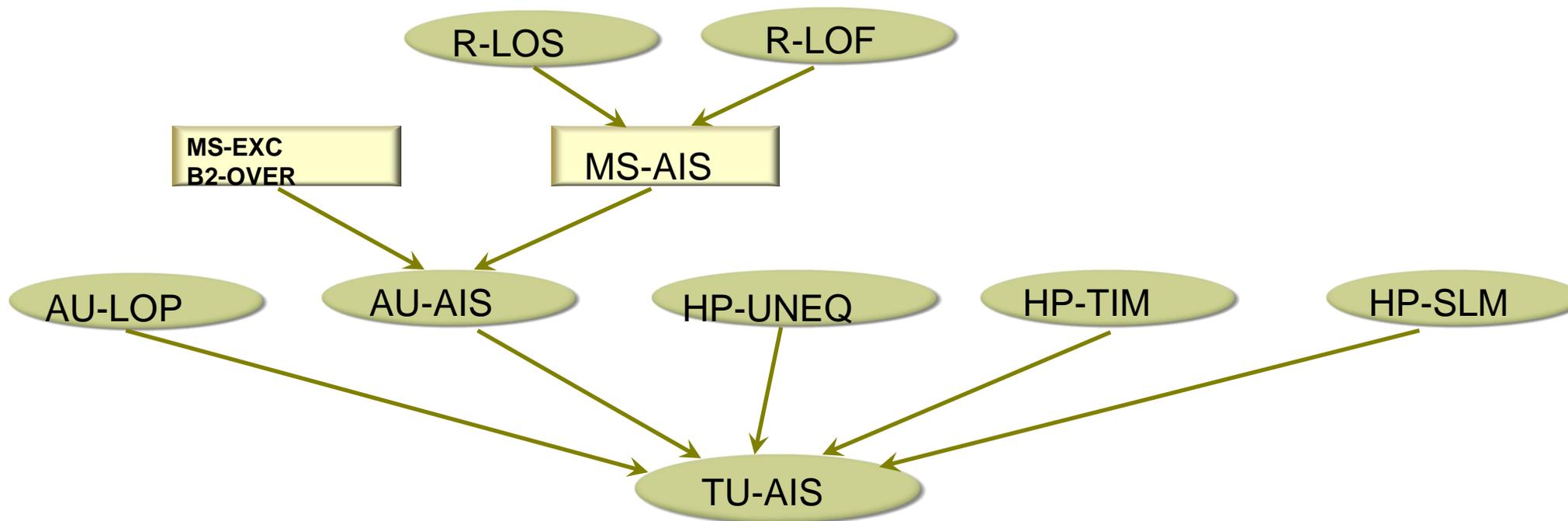
LPT、LPA、PPT组成LOI，功能2M、34M—VC-12、VC-3

辅助功能块

- SEMF: 同步设备管理功能块
 - 本设备各功能块的监控
 - 其他设备间OAM信息互通
- MCF: 消息通信功能块
 - 提供网管F&Q接口
 - 提供D1-D3、D4-D12接口(P、N)
- SETS: 同步设备定时源
 - 提供本地时钟
 - 输出本地时钟
- OHA: 开销接入功能块
 - 公务开销的接入: E1、E2、F1



告警流程图



小结

本节我们主要学习了：

- 设备逻辑功能块组成
- 各逻辑功能块实现的主要功能

总结

本课程我们主要学习了：

1. SDH信号帧结构、各种开销字节及相关告警的含义
2. 设备的逻辑组成
3. 复用和解复用的过程
4. 网络级保护倒换原理



3. WDM原理基础



学习目标

学习完本课程，您应该能够：

- 了解WDM的基本概念、基本原理、组成结构
- 了解WDM的传输媒质
- 掌握DWDM的关键技术
- 掌握DWDM的受限因素及解决办法



课程内容

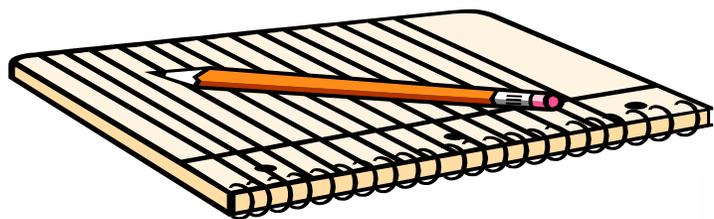
第一章 波分复用技术概述

第二章 WDM 的传输媒质

第三章 DWDM的关键技术

第四章 WDM系统受限因素

第五章 典型组网信元流



WDM产生的背景

各种新业务的蓬勃发展，需要的带宽越来越大

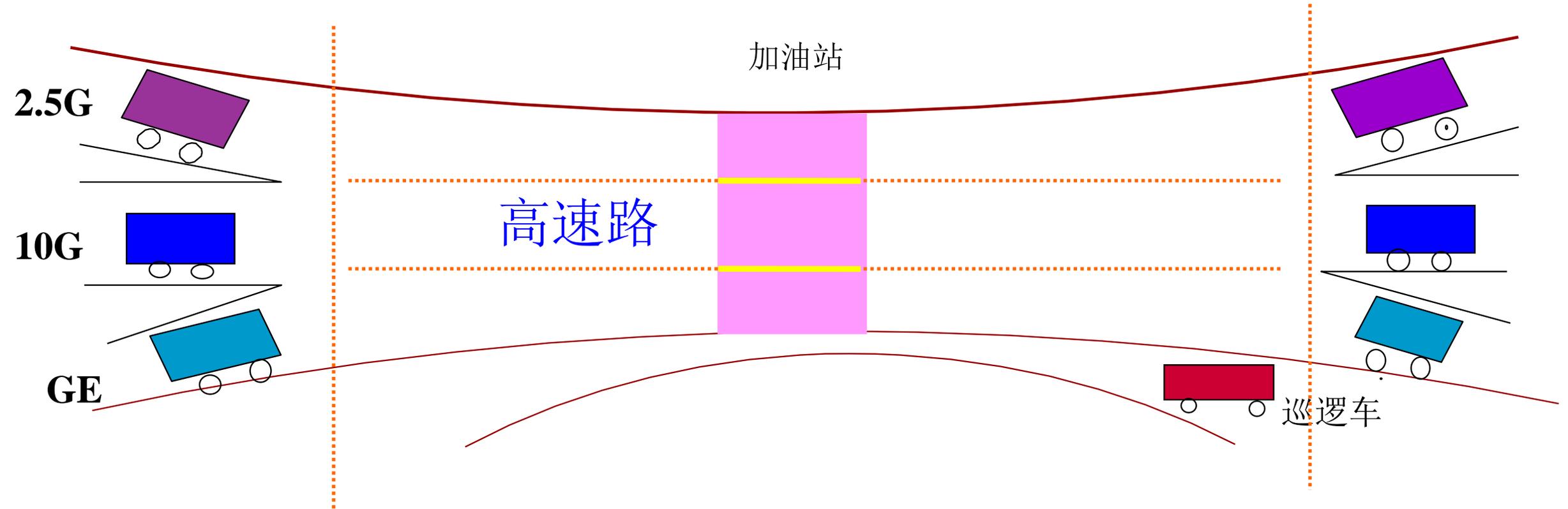
如何提高
传输容量

一根光纤上传输多个信号

更高比特率TDM。STM-1--STM-64

采用SDM，铺设多芯新光缆(需考虑时间与成本)

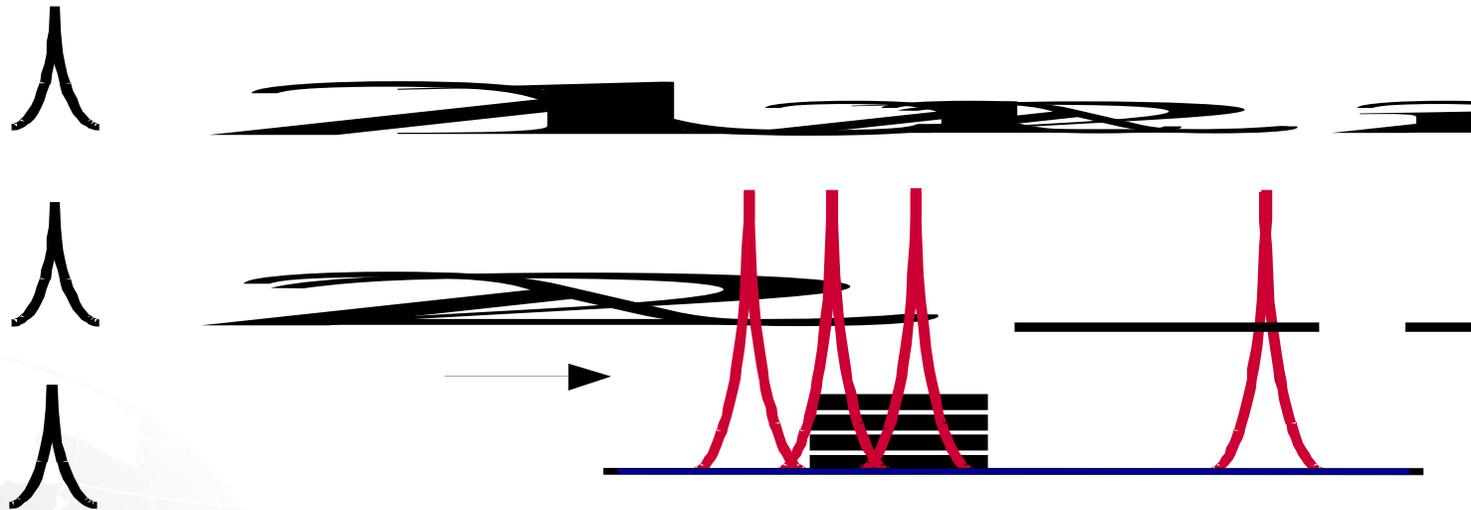
什么是WDM?



小车/信号 高速路/光纤 加油站/光放大站 巡逻车/监控信道

WDM的概念

把不同波长的光信号复用到同一根光纤中进行传送，这种方式我们把它叫做波分复用（**Wavelength Division Multiplexing**）。



- 稀疏波分复用（CWDM）：波长间隔大，一般为20nm
- 密集波分复用（DWDM）：波长间隔小，小于等于0.8nm

WDM对波长的要求

➤ 从技术实现的角度来说

各厂家可以选择任意波长进行波分复用

➤ 从技术兼容性的角度来说

我们必须对WDM系统中的光波长进行规范

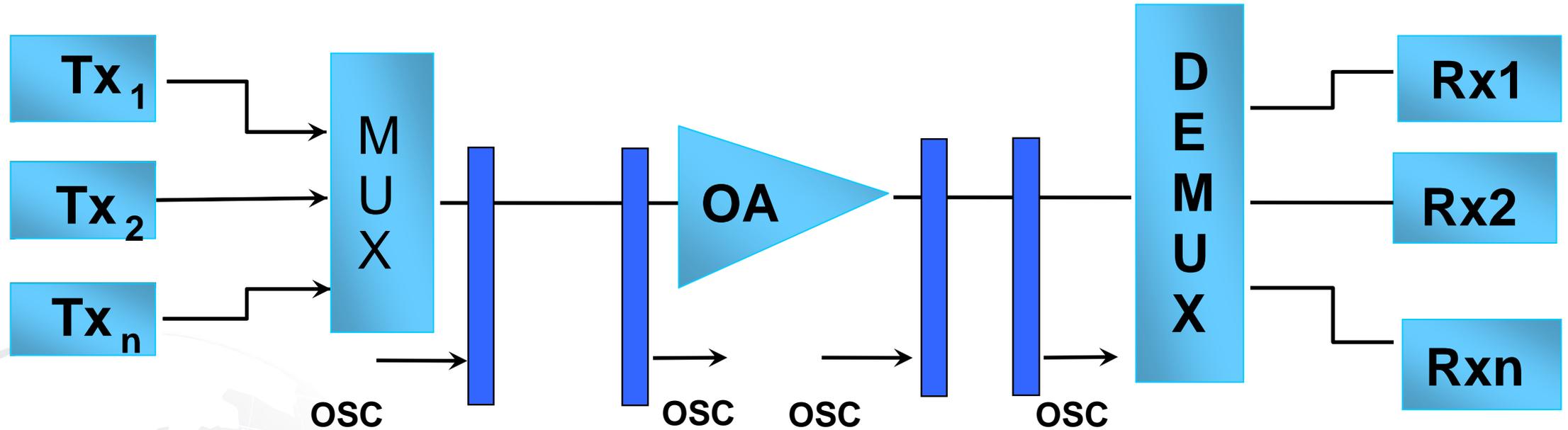


➤ ITU-T 对WDM系统中光波长的规定

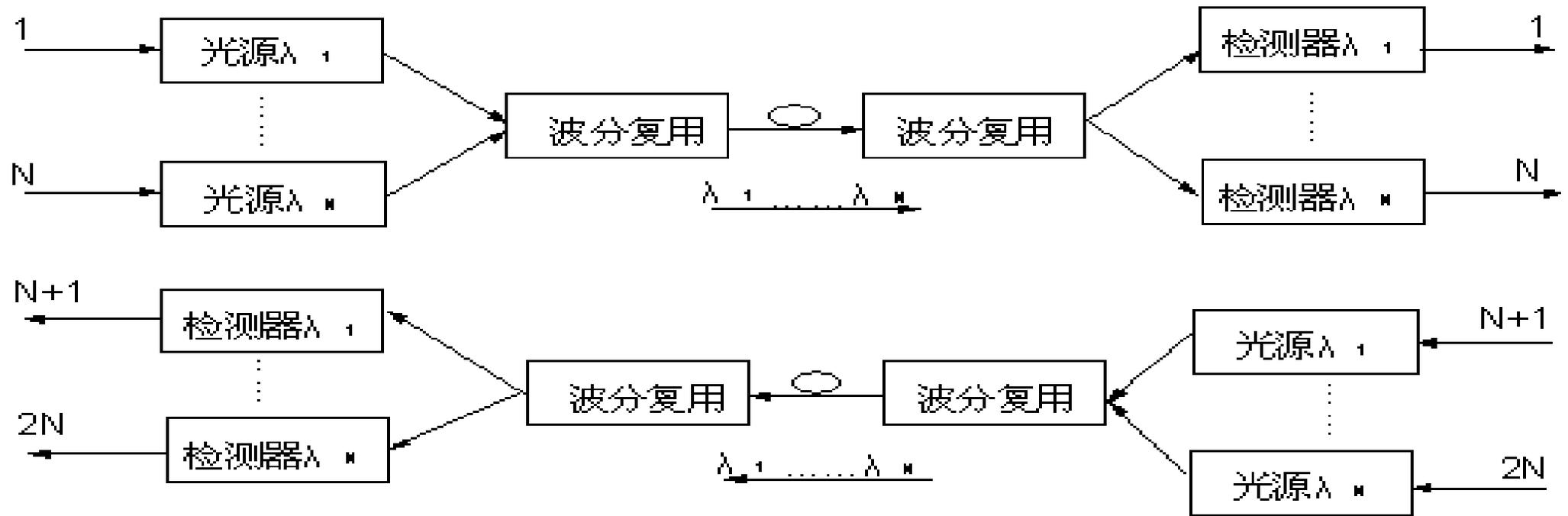
G.692建议、G.694.1建议、G.694.2建议 **====》** 波长频率分配表

WDM中的光波长必须严格遵照波长频率分配表

WDM典型模型

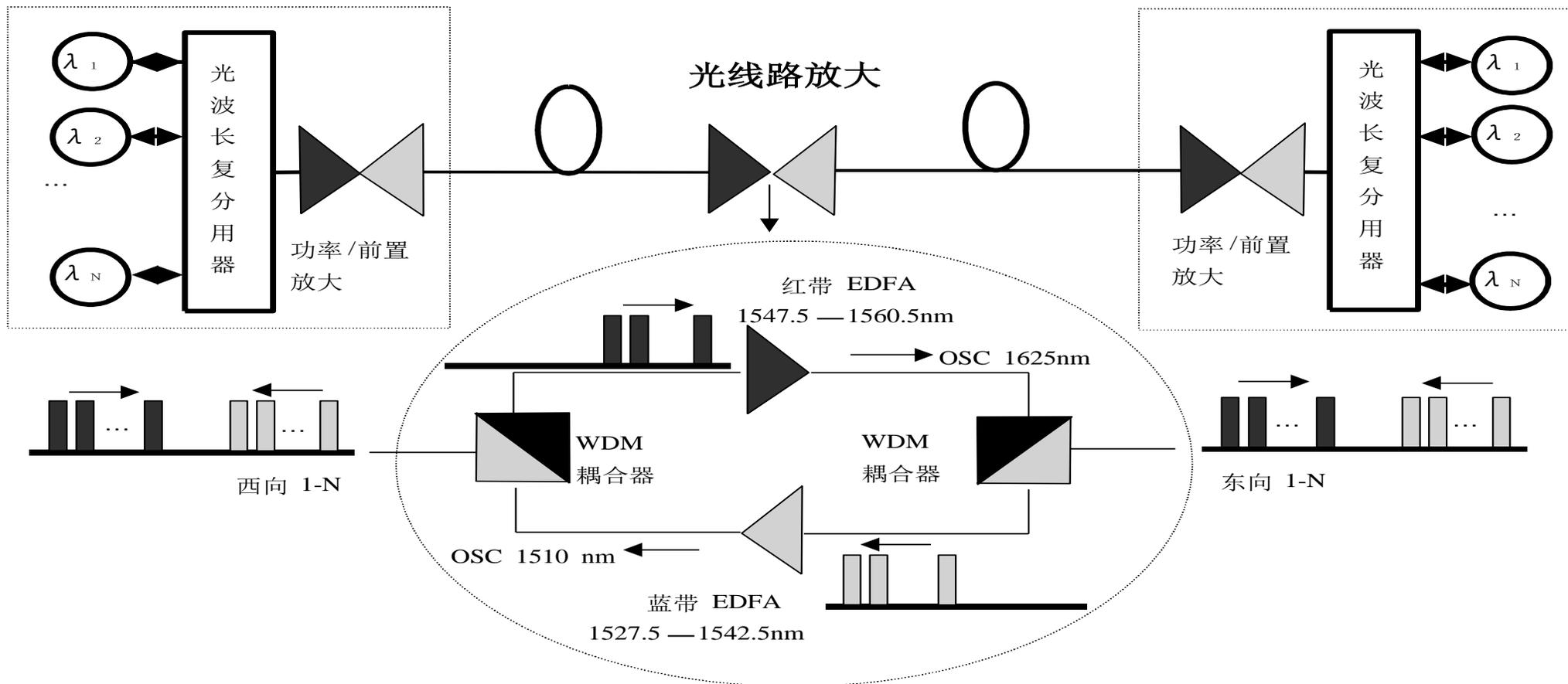


双纤单向WDM



双纤单向波分复用系统采用两根光纤，每根光纤只完成一个方向光信号的传输。

单纤双向WDM



单纤双向波分复用系统则只用一根光纤，在这根光纤中同时实现双向信号的传输。

单纤双向波分复用系统中，两个方向的信号光应安排在不同波长上。

主流

➤ 开放式WDM系统

在终端复用设备中，具备光接口变换功能，
可以和任何厂家的 SDH 设备进行对接。

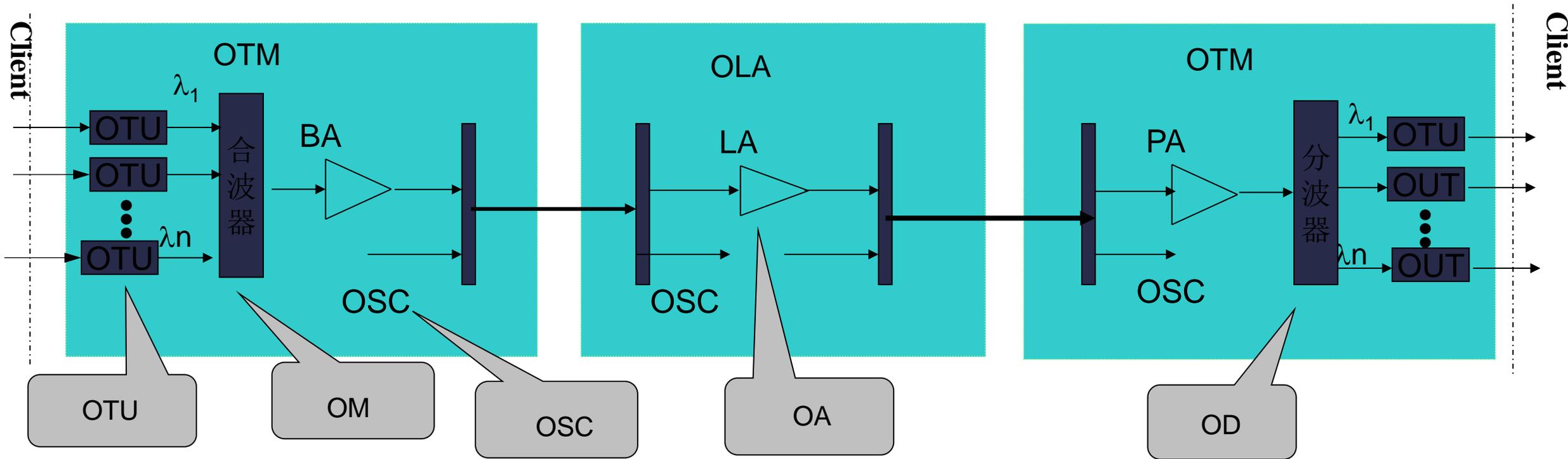
➤ 集成式WDM系统

在终端复用设备中，不具备光接口变换功能，
SDH 设备中的光发送单元性能必须满足波分系统的要求：
如：波长精度、光谱特性、发送光功率等等。

➤ 半开放式WDM系统

在终端复用设备中，发端具备光接口变换功能，
可以和任何厂家的 SDH 设备进行对接。

开放式WDM系统的组成



◆ OTU: 完成非标准波长信号光到符合G.694.1(2)的标准波长信号光的波长转换功能

◆ OM/OD: 完成G.694.1(2)固定波长信号光的合波/分波

◆ OA:

BA (功放): 通过提升合波后的光信号功率, 从而提升各波长的输出光功率

PA (预放): 通过提升输入合波信号的光功率, 从而提升各波长的接收灵敏度

LA (线放): 完成对合波信号的纯光中继放大处理

◆ OSC: 通常采用1510nm和1625nm, 负责整个网络的监控数据传送。(后来出现了ESC技术,利用OTU光信号直接携带监控信息,在ESC方式下不需要OSC,但要求OTU支持ESC功能)

本章小结

- 什么是WDM?
- WDM对波长有何要求?
- WDM可分为哪几种类型?
- 开放式WDM系统由哪几部分组成? 每部分的作用是什么?

课程内容

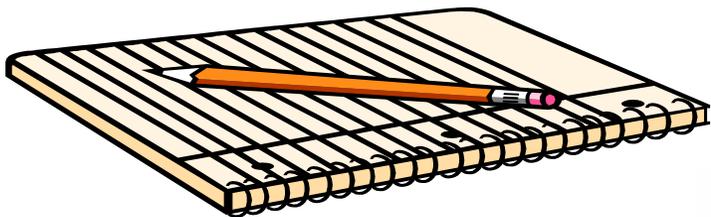
第一章 波分复用技术概述

第二章 WDM 的传输媒质

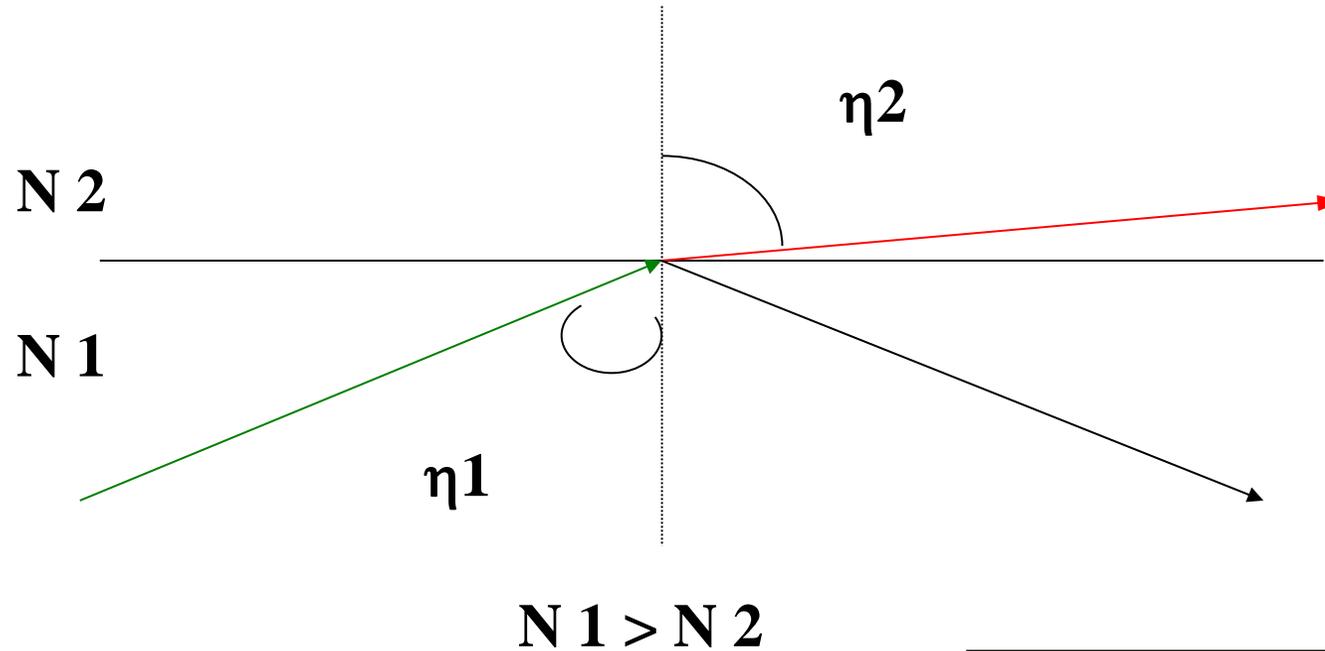
第三章 DWDM的关键技术

第四章 WDM系统受限因素

第五章 典型组网信元法



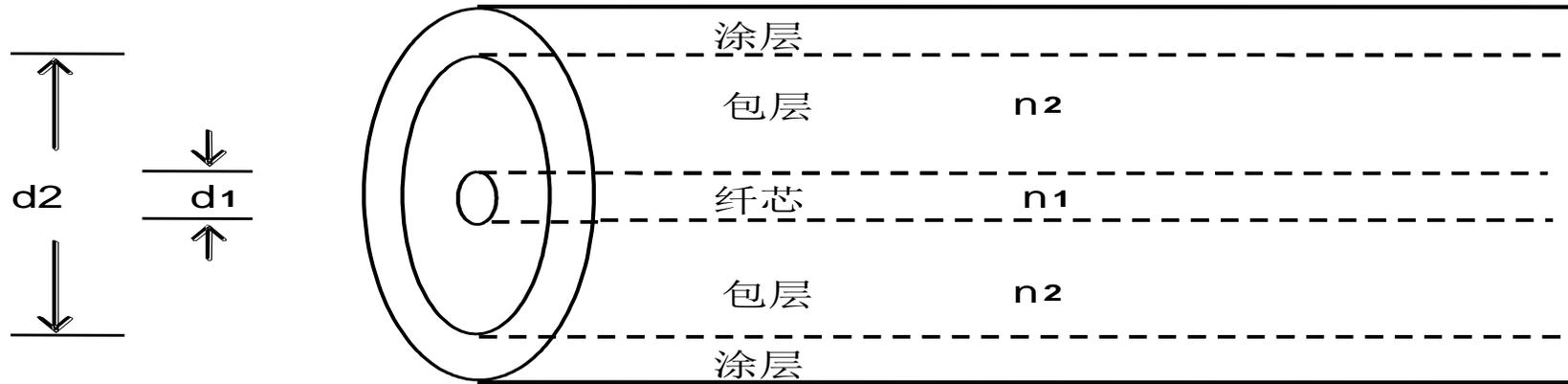
光在光纤中传输的原理



折射定律以及全反射定律

$$N_1 \sin \eta_1 = N_2 \sin \eta_2$$
$$\sin \eta_c = N_2 / N_1$$
$$\eta_1 \geq \eta_c$$

光纤的结构



光纤的结构

纤芯的折射率 n_1 和包层的折射率 n_2 哪个更大一些?

单模/多模光纤

随着纤芯直径的粗细不同，光纤中传输模式的数量多少也不同。因此光纤按照传输模式的数量多少，分为**单模光纤**和**多模光纤**：

- 当光纤纤芯的几何尺寸远大于光波波长时，光在波导光纤中会以几十种或更多的传播模式进行传播，这样的光纤叫做多模光纤。多模光纤的纤芯直径较粗，通常直径等于**50um**左右；
- 当光纤的几何尺寸可以与光波长相比拟时，即纤芯的几何尺寸与光信号波长相差不大时，光纤只允许一种模式在其中传播，其余的高次模全部截止，这样的光纤叫做单模光纤。单模光纤的纤芯直径较细，通常直径为**5~10um**；
- 从光纤的外观上来看，两种光纤区别不大，包括塑料护套的光纤直径都小于**1mm**；

波分系统里用的都是单模光纤

光纤的损耗特性

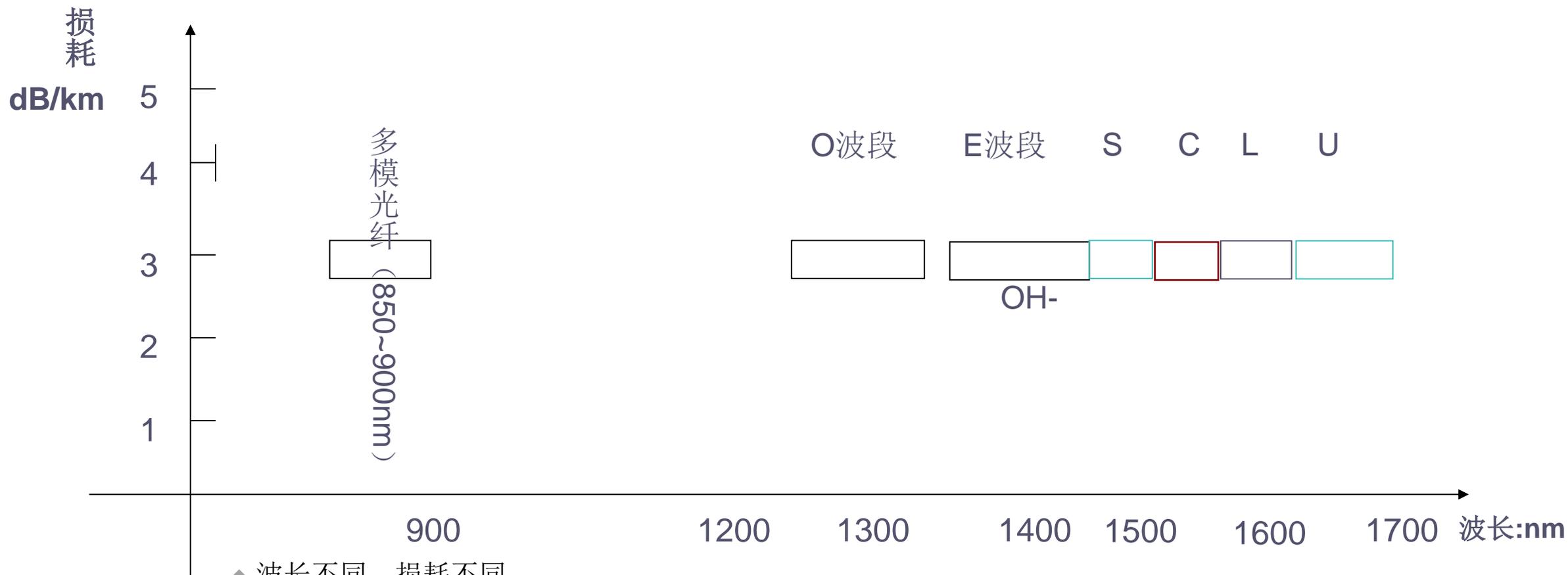


光纤的衰减或损耗是一个非常重要的、对光信号的传播产生制约作用的特性。光纤的损耗限制了光信号的传播距离。光纤的损耗主要包含吸收损耗、散射损耗、弯曲损耗三种损耗。

- 光纤吸收损耗是制造光纤的材料本身造成的，包括紫外吸收、红外吸收和杂质吸收；
- 由于材料的不均匀使光散射而引起的损耗称为瑞利散射损耗。瑞利散射损耗是光纤材料二氧化硅的本征损耗；
- 光纤的弯曲会引起辐射损耗；

决定光纤衰减常数的损耗主要是吸收损耗和散射损耗

常规光纤损耗随波长变化曲线图



- ◆ 波长不同，损耗不同
- ◆ 1380nm附近由于氢氧根粒子吸收，光纤损耗急剧加大，俗称水峰
- ◆ ITU-T将单模光纤在1260nm以上的频带划分了O、E、S、C、L、U几个波段
- ◆ 容易看出，在这6个波段中，C波段和L波段损耗最小

WDM中信号光窗口范围

波段	说明	范围 (nm)	带宽 (nm)
O波段	原始	1260~1360	100
E波段	扩展	1360~1460	100
S波段	短波长	1460~1525	65
C波段	常规波长	1525~1565	40
L波段	长波长	1565~1625	60
U波段	超长波长	1625~1675	50

因为**C波段**和**L波段**这两个传输窗口的传输衰耗最小，所以**DWDM**系统中信号光选择在**C波段**和**L波段**。

粗波分由于传输距离短，衰耗并非主要限制因素，所以**CWDM**系统中信号光跨越多个波段（**1311~1611nm**）。

光纤中的色散特性

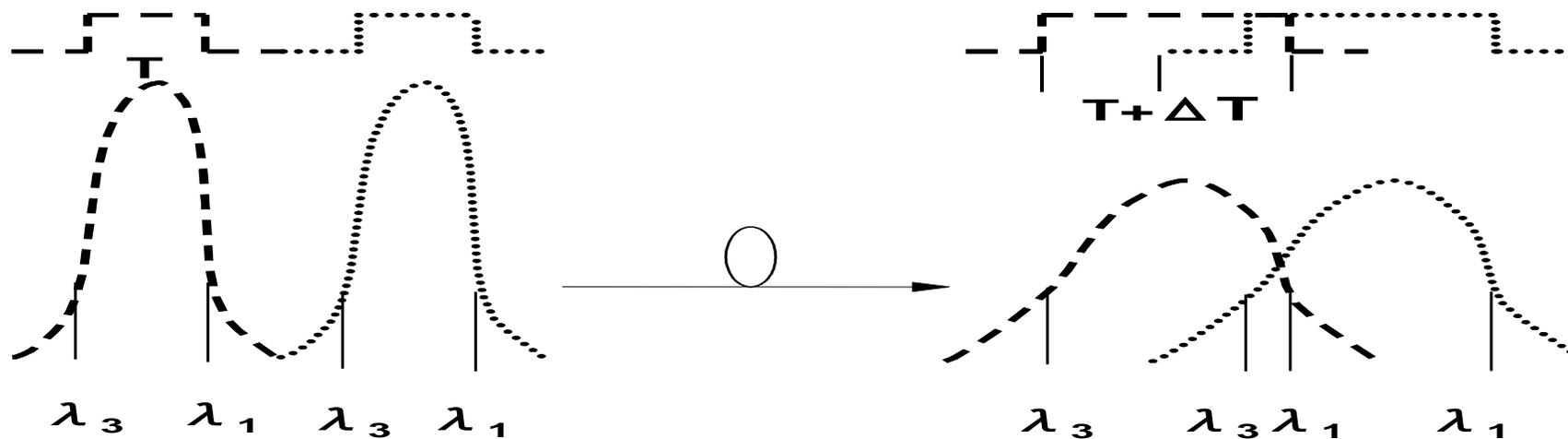
光脉冲中的不同频率或模式在光纤中的群速度不同，因而这些频率成分和模式到达光纤终端有先有后，使得光脉冲发生展宽，这就是光纤的色散。



- 光纤中的色散可分为模式色散、色度色散、偏振模色散：
 - ◆ 模式色散也称为模间色散，模式色散主要存在于多模光纤中；
 - ◆ 色度色散（CD）也称为模内色散，可以分为材料色散和波导色散；
 - ◆ 偏振模色散（PMD）是由于信号光的两个正交偏振态在光纤中有不同的传播速度而引起的，偏振模色散是由随机因素产生的，因而其为一随机量，难补偿；
- 色度色散系数就是单位波长间隔内光波长信号通过单位长度光纤所产生的时延差，用D表示，单位是ps/nm.km。偏振模色散系数则用PMD_Q来表示，单位是ps/kmⁿ（n为1/2）

色度色散的影响

从TDM角度上说，色散将导致码间干扰。

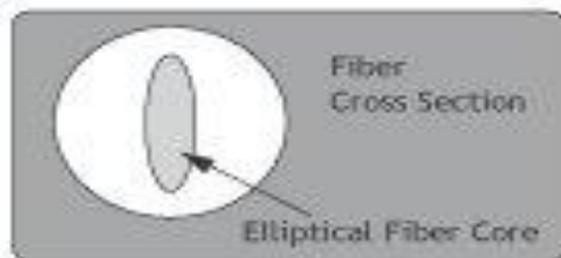


- 光源是非零谱宽的，光源输出的光信号被电脉冲进行强度调制，调制信号具有调制光源的每一波长成分。
- 由于各波长成分到达的时间先后不一致，因而使得光脉冲加长 ($T + \Delta T$)，这叫作脉冲展宽。光脉冲传输的距离越远，脉冲展宽越严重。脉冲展宽将使前后光脉冲发生重叠，称为码间干扰。码间干扰将引起误码，因而限制了传输的码速率和传输距离。

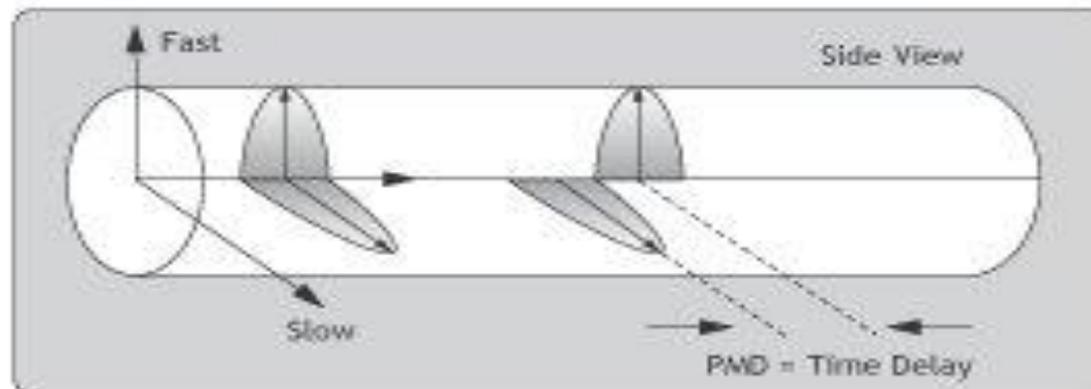
但从WDM角度上说，色度色散有利于克服光纤的非线性造成的信道间干扰，如FWM和XPM。

- 需要辩证的看待色度色散的影响。

偏振模色散 (PMD)



PMD IS CAUSED BY SLIGHT FIBER ASYMMETRY



DIFFERENT POLARIZATIONS TRAVEL AT DIFFERENT SPEEDS

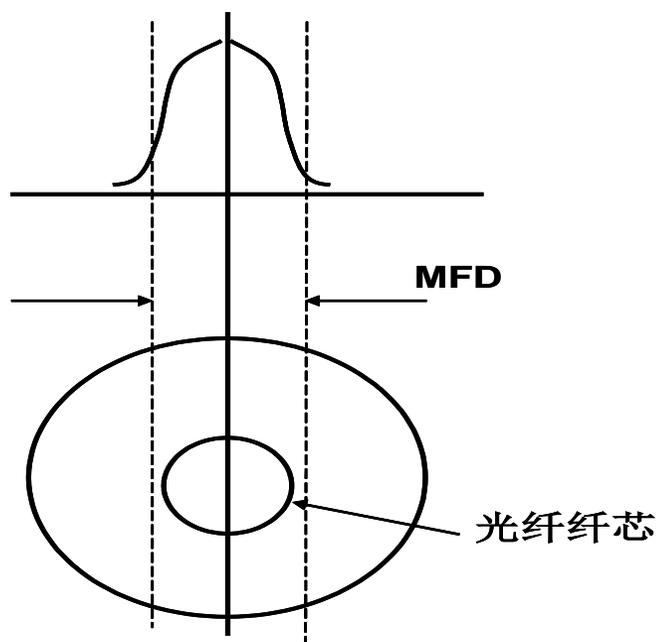
- 由于信号光的两个正交偏振态在光纤中有不同的传播速度而引起的色散称偏振模色散，它也是光纤的重要参数之一。
- 引起偏振模色散的因素是随机产生的，因而偏振模色散是一个随机量。
- PMD具有和色度色散相同的影响：引起脉冲展宽

光纤的截止波长

- ◆ 截止波长：单模光纤中光信号能以单模方式传播的最小波长；
- ◆ 实际光波长比截止波长小时会有多个模式在单模光纤中传播，并呈现多模特性；
- ◆ 为避免模式噪声和模式色散，实际系统光缆中的最短光缆长度的截止波长应该小于系统的最低工作波长，截止波长条件可以保证在最短光缆长度上单模传输，并且可以抑制高阶模的产生或可以将产生的高阶模式噪声功率代价减小到完全可以忽略的地步；
- ◆ G.652光纤在22米长光缆上的截止波长 $\leq 1260\text{nm}$ ，在2~20米长的跳线光缆截止波长 $\leq 1260\text{nm}$ ，在短于2米长跳线光缆上的光纤的截止波长 $\leq 1250\text{nm}$ ；
- ◆ G.655光纤在22米长光缆上的截止波长 $\leq 1480\text{nm}$ ，在短于2米长光缆上的一次涂敷光纤上的截止波长小于等于 1470nm ，2~20米长跳线光缆上的截止波长 $\leq 1480\text{nm}$ 。

光纤的模场直径

- ◆ 在光纤中，光能量不完全集中在纤芯中传输，部分能量在包层中传输，纤芯的直径不能反映光纤中光能量的分布，于是提出了模场直径的概念。



- ◆ 模场直径就是描述单模光纤中光能集中程度的参量
- ◆ 模场直径越小，通过光纤横截面的能量密度就越大。当通过光纤的能量密度过大时，会引起光纤的非线性效应，造成系统的光信噪比降低，大大影响系统性能。

思考：此值是越大越好还是越小越好？

单模光纤的非线性效应



➤ 从本质上讲，所有介质都是非线性的，只是一般情况下非线性特征很小，难以表现出来。当光纤的入纤功率不大时，光纤呈现线性特征，当光放大器和高功率激光器在光纤通信系统中使用后，光纤的非线性特征愈来愈显著；

➤ 单模光纤的非线性效应一般可以分：

➤ 受激非弹性散射（受激拉曼散射SRS、受激布里渊散射SBS）、

➤ 克尔效应（自相位调制SPM、交叉相位调制XPM、四波混频FWM）

➤ 注意：非线性效应一旦产生，就无法消除或补偿，必须尽量防止非线性效应的产生！

➤ 使用模场直径大的光纤，可以降低通过光纤的功率密度，可以抑制非线性效应的产生。

最主要我们可以通过降低入纤光功率、采用大有效面积光纤等来防止非线性效应的发生。

非线性效应与色散相关，色散并不是越小越好。

G.652/G.653/G.655单模光纤



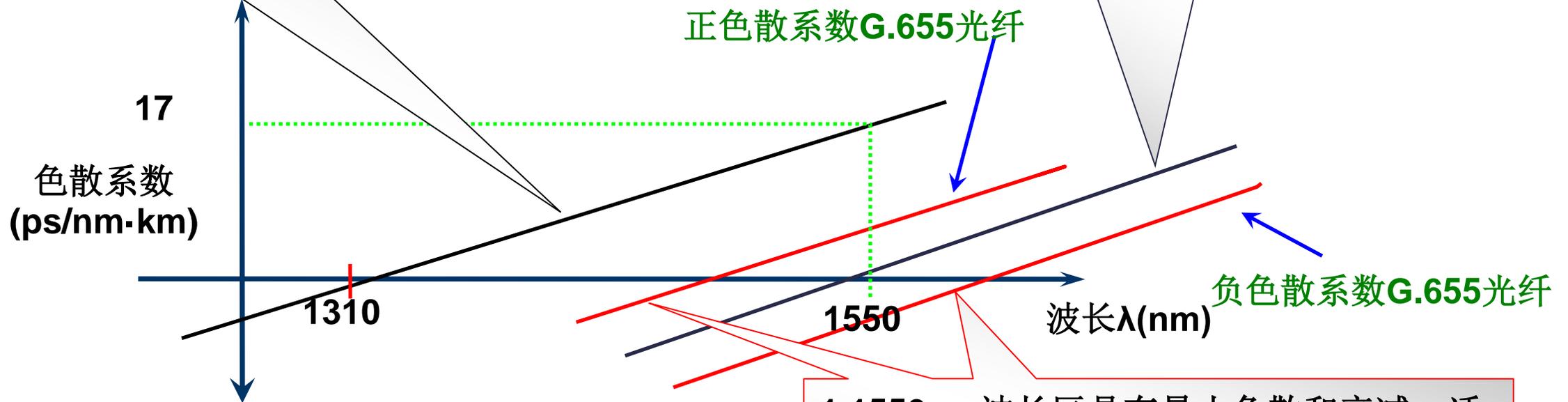
ITU-T已经在G.652、G.653、G.654和G.655建议中分别定义了4种不同设计的单模光纤，区别见下表：

类型	定义	适用范围	主要指标
G.652	标准单模光纤（SMF），是指色散零点（即色散为零的波长）在1310nm附近的光纤。	SDH系统、DWDM系统均可。	<p>衰减：1310nm窗口目前一般在0.3-0.4dB/km，典型值0.35dB/km；1550nm窗口目前一般在0.17-0.25dB/km，典型值0.20dB/km；</p> <p>色散：零色散波长的允许范围是1300nm到1324nm。在1550nm窗口的色散系数是正的。在波长1550nm处，色散系数D的典型值是17ps/nm-km，最大值一般不超过20ps/nm-km；</p>
G.653	色散位移光纤（DSF），是指色散零点在1550nm附近的光纤，它相对于标准单模光纤（G.652），色散零点发生了移动。	SDH系统可以，DWDM一般不采用。	<p>衰减：1310nm波段：<0.55dB/km，目前没有掌握典型值数据。1550nm波段：<0.35dB/km，目前一般在0.19-0.25dB/km；</p> <p>色散：G.653的零色散波长在1550nm附近，在1525-1575nm范围内，最大色散系数是3.5ps/nm-km，在1550nm窗口，特别是在C_band，色散位移光纤的色散系数太小或可能为零；</p>
G.655	非零色散位移光纤（NZDSF），将色散零点的位置从1550nm附近移开一定波长数，使色散零点不在1550nm附近的DWDM工作波长范围内。	SDH/DWDM系统均可，但更适合DWDM系统的传送。	<p>衰减：1310nm波段：ITU-T无规定。1550nm波段：<0.35dB/km，目前一般在0.19-0.25dB/km。</p> <p>色散：当1530nm <math>\lambda</math> <math>1565\text{nm}</math>，0.1ps/nm-km <math>< D(\lambda) < 6.0 \text{ ps/nm-km}</math>；655光纤色散系数没有典型值，因厂家而异，常见的有4.5ps/nm.km和6pm/nm.km。需要实地确认。</p>

G.652/G.653/G.655单模光纤各自的特点

G.652光纤:大量铺设, 传
高速信号需色散补偿

G.653光纤:1550nm波长区混
频严重, 不适合DWDM



1.1550nm波长区具有最小色散和衰减, 适合DWDM系统、高速信号传输

2.应用: **TrueWave**真波光纤(正色散区的SPM效应有利于传输); **LEAF**-大有效面积光纤(克服非线性效应)

G.654	于653类似, 截止波长不同1530nm
全波光纤	消除了1380nm处的水峰增益

本章小结

- WDM系统中使用的是单模还是多模光纤？
- 单模光纤中损耗最小的窗口是哪些窗口？
- 信号光在单模光纤中传输会遇到哪些问题？
- G. 652/653/655光纤各自的特点是什么？
- 色散是否越小越好？

课程内容

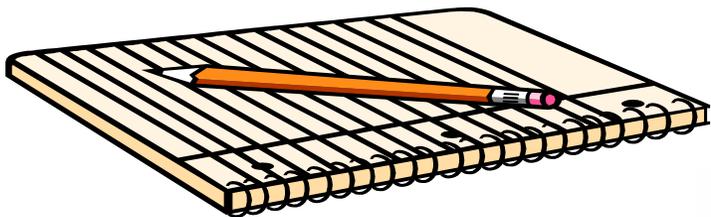
第一章 波分复用技术概述

第二章 WDM 的传输媒质

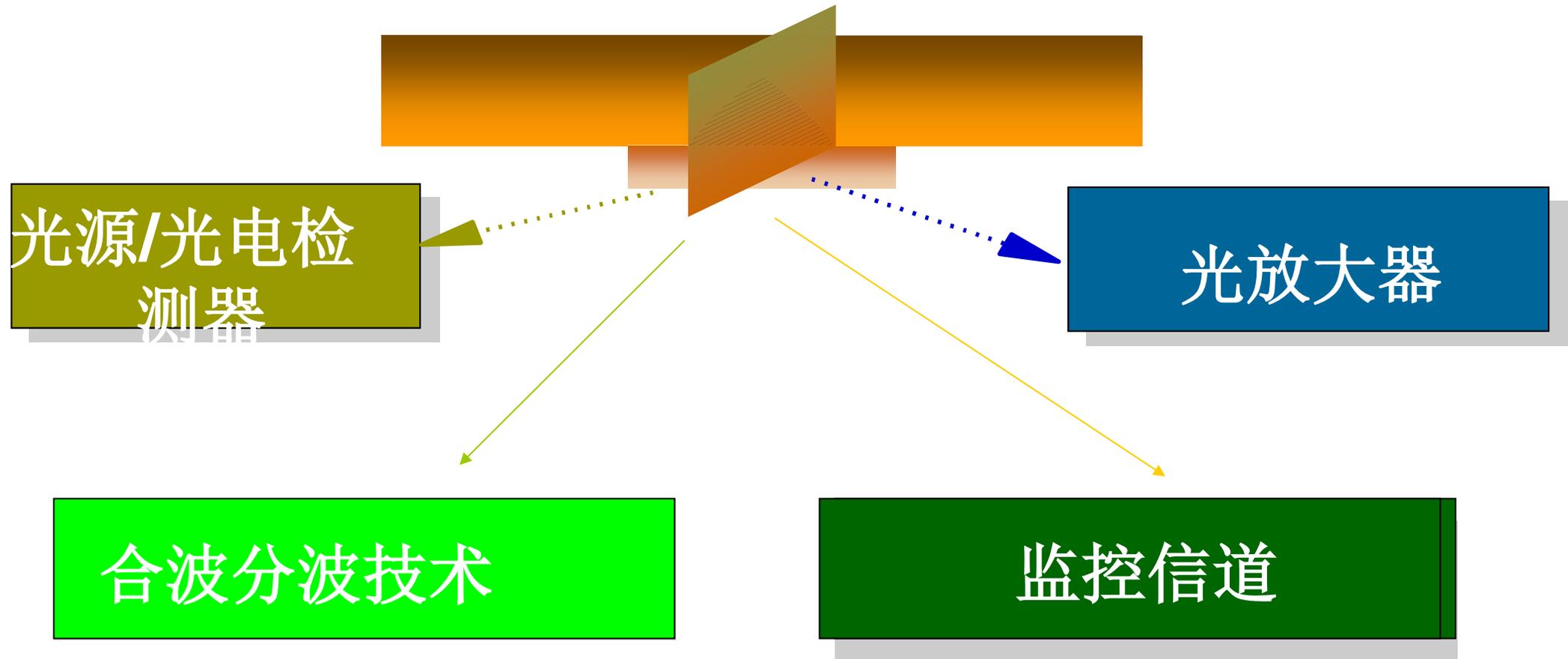
第三章 DWDM的关键技术

第四章 WDM系统受限因素

第五章 典型组网信元流



DWDM系统的关键技术

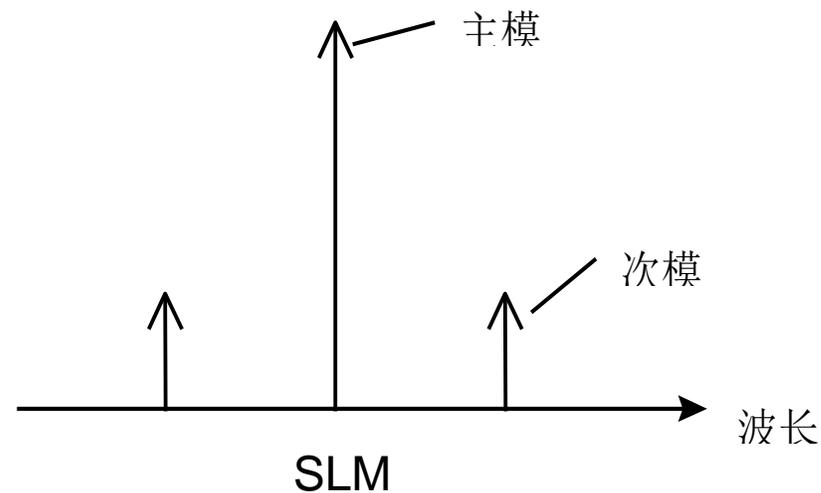
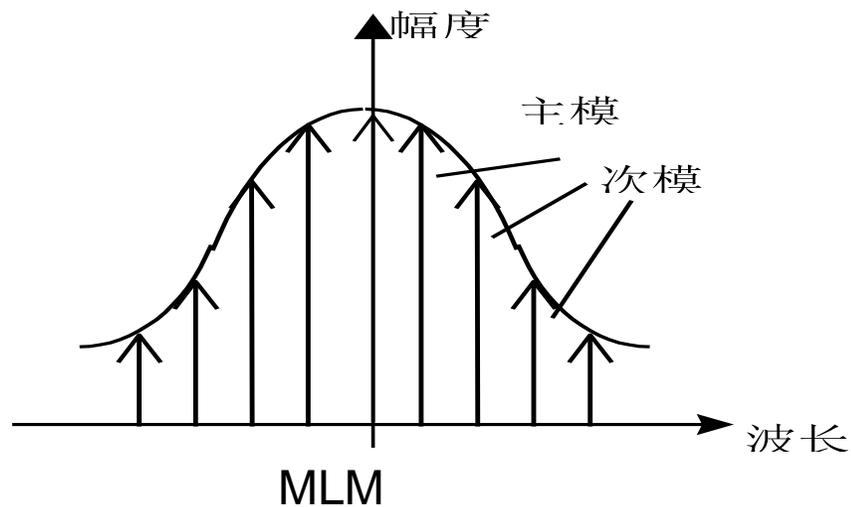


DWDM光源技术

DWDM系统的光源具有两个最突出的特点：

- 1、比较大的色散容限值；
- 2、标准而稳定的波长；

因此选择半导体激光器（LD）作为光源。对于应用于高速光纤通信系统中LD光源，又分为多纵模（MLM）激光器和单纵模（SLM）激光器两类。



激光器的调制方式

1、直接调制光源

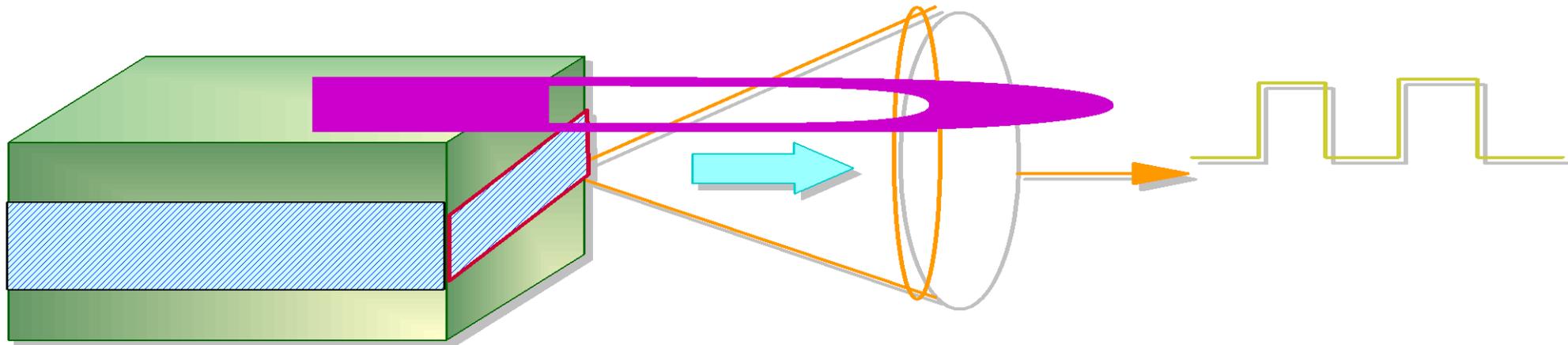
2、间接调制光源

a、电吸收调制光源(EA)

b、马赫-策恩德尔调制光源(M-Z)

直接调制光源

◆ 直接调制：直接调就是利用电信号的‘1’和‘0’控制激光器的开、关，使特定波长的光波携带电信号。

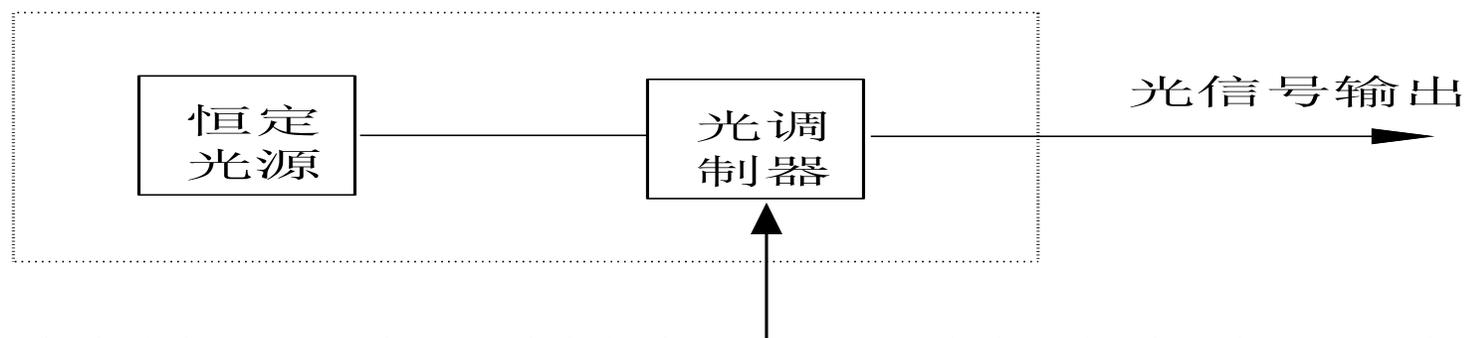


优点：技术简单、成本较低

缺点：因存在‘1’和‘0’频率的变化，不可避免存在啁啾。啁啾的存在展宽了激光器发射光谱的带宽，使光源的光谱特性变坏，限制了系统的传输速率和距离；适用于短距离传输

间接调制光源

◆ 间接调制不直接调制光源，而是在光源的输出通路上外加调制器对光波进行调制，此调制器实际上起到一个开关的作用。

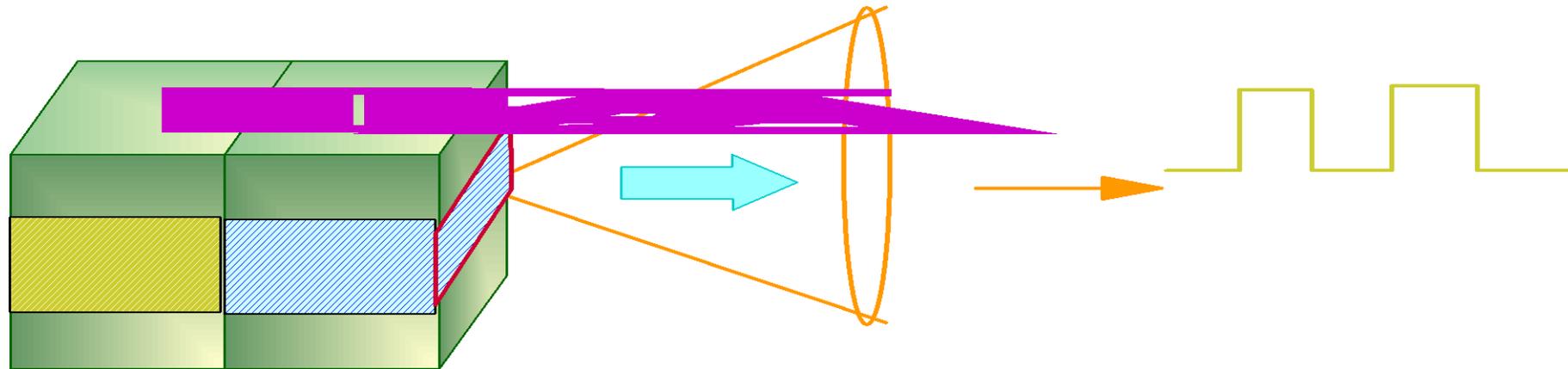


恒定光源是一个连续发送固定波长和功率的高稳定光源，在发光的过程中，不受电调制信号的影响，因此不产生调制频率啁啾，光谱的谱线宽度维持在最小。

光调制器对恒定光源发出的高稳定激光根据电调制信号以“允许”或者“禁止”通过的方式进行处理，而在调制的过程中，对光波的频谱特性不会产生任何影响，保证了光谱的质量，适用于高速率、长距离传输。

常用的间接调制有两种：电吸收调制光源和M-Z光源

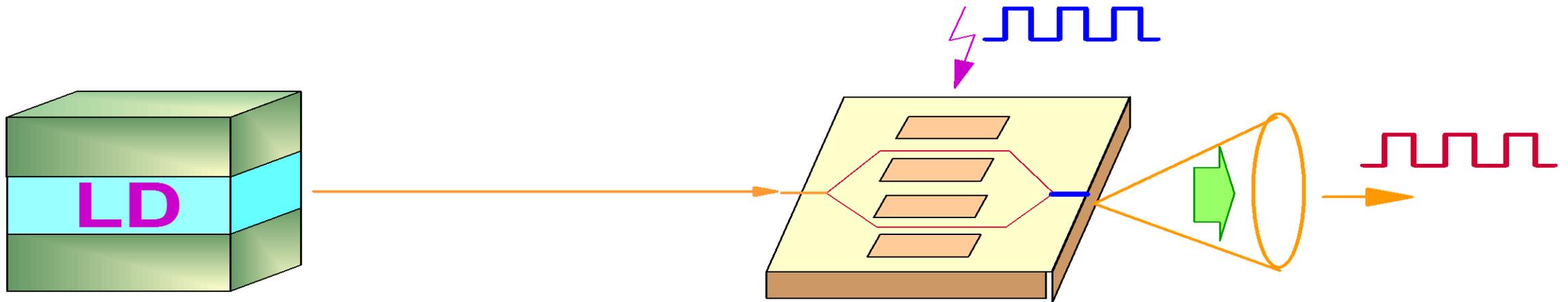
电吸收调制光源 (EA)



优点：频率啁啾较低，色散受限距离较长

缺点：技术较复杂

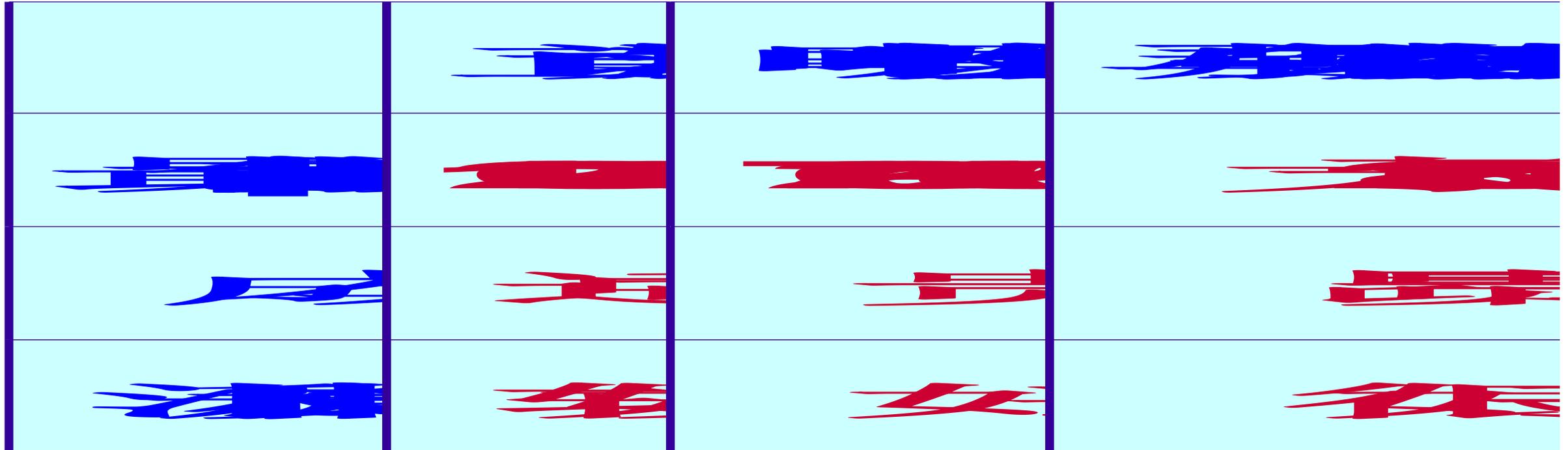
马赫-策恩德尔调制光源 (M-Z)



优点：可忽略啁啾，色散受限距离很长

缺点：技术难度大，不便于集成

三种光源的比较



WDM中，我们常用的是电吸收调制光源和直调光源

光电检测器

光电检测器的作用是把接收到的光信号转换成相应的电信号。

半导体光检测器主要有两类：**PIN**光电二极管和雪崩光电二极管（**APD**）。

- **PIN**管由于其灵敏度比较低（一般为-20dBm左右）、过载点比较高（一般为0dBm左右）适用于短距离传送。
- **APD**管由于其灵敏度比较高（一般为-28dBm左右）、过载点比较低（一般为-9dBm左右），适用于长距离传送。

较高的反向偏压以及较强的输入光信号都可能导致反偏电流过大，使**APD**管被反向击穿。因此在现场需要注意操作规范：

- 1、使用**OTDR**表等能输出大功率光信号的仪器对光路进行测量时，注意将对端通信设备与光路断开，一面强光损坏接收机。
- 2、保证输入光功率不超过器件允许的最大值，单板自环时注意加适当的衰减器。
- 3、不能采用将光纤连接器插松的形式来代替光衰减器。

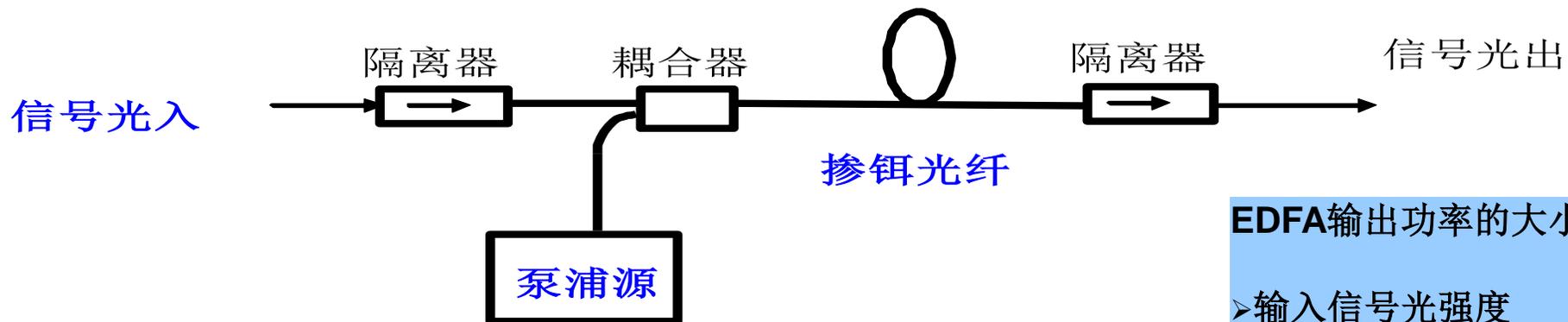
放大器

半导体光放大器(SOA)

掺铒光纤放大器(EDFA)

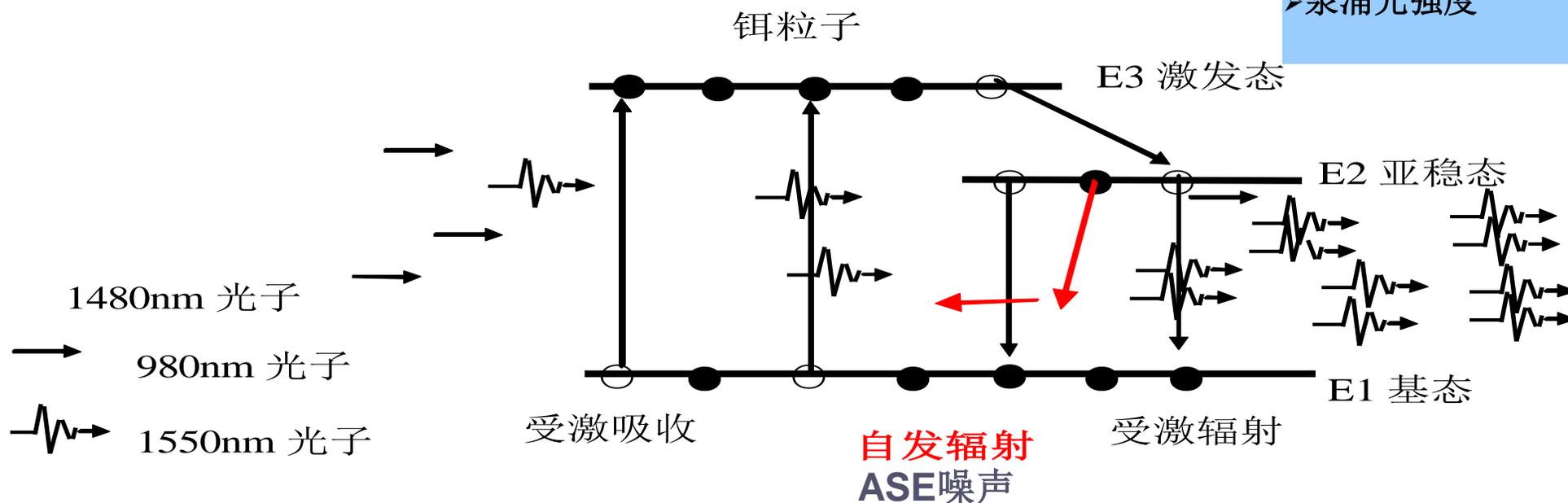
拉曼放大器(Raman)

EDFA组成及原理

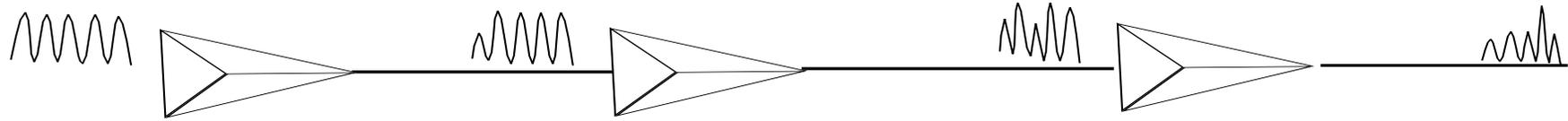


EDFA输出功率的大小与这些因素有关

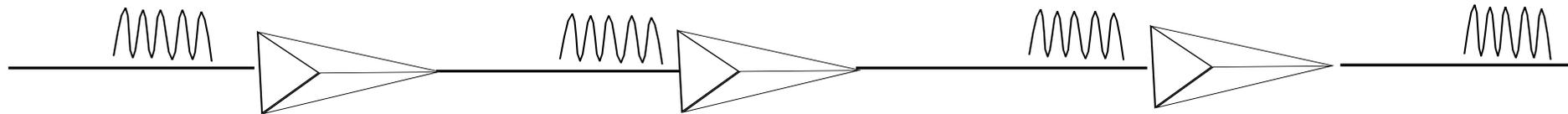
- 输入信号光强度
- 铒纤的长度
- 泵浦光强度



EDFA增益平坦控制



放大器增益不平坦的级联放大

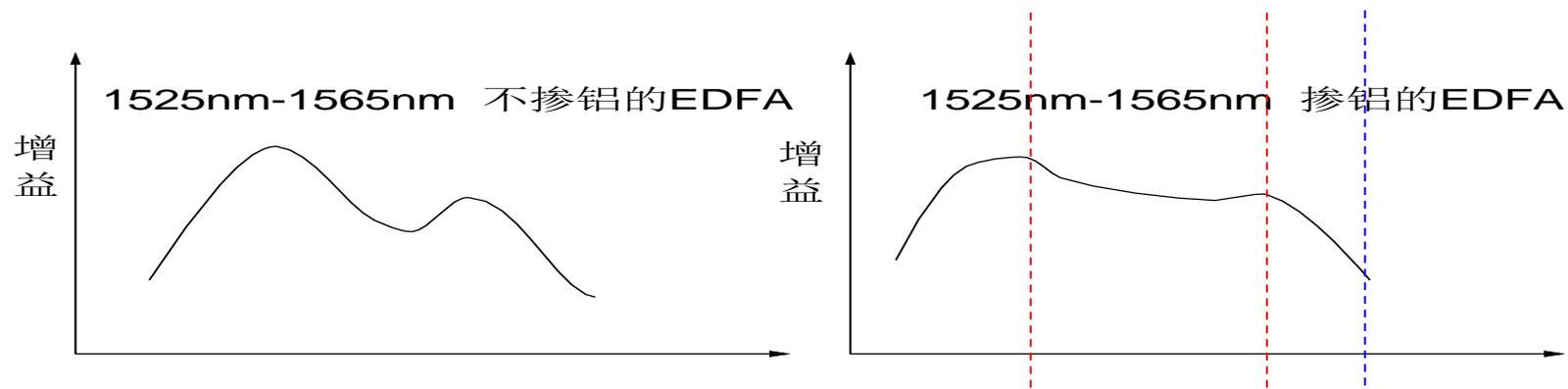


放大器增益平坦的级联放大

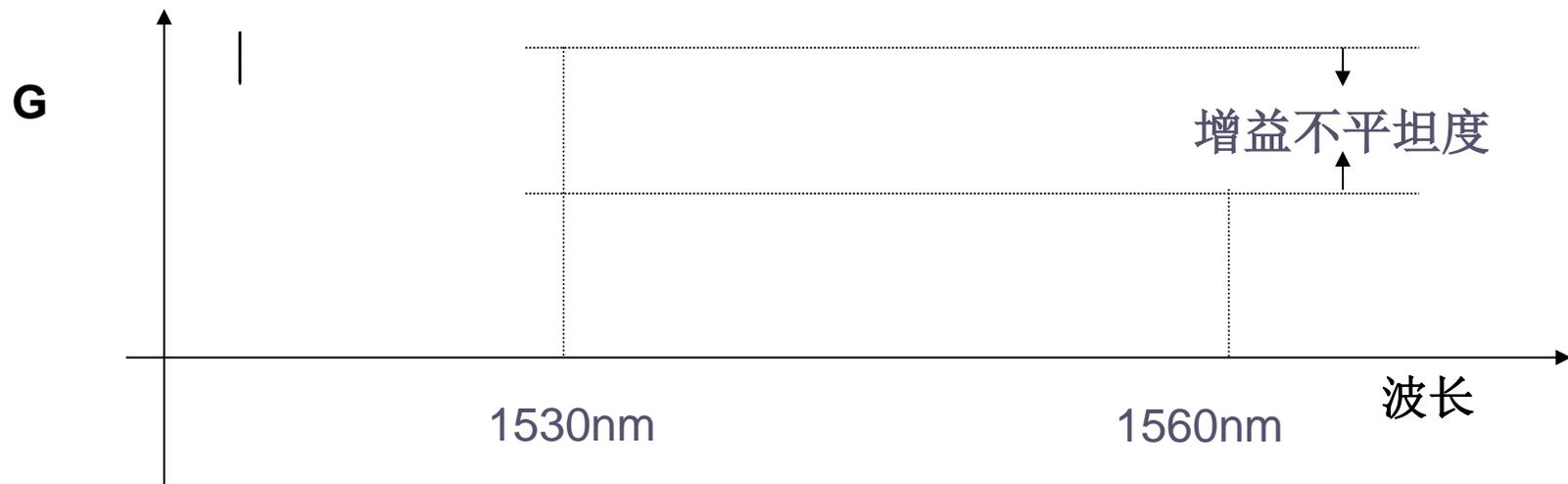
增益控制的两种方式:

1、掺金属元素;

2、GFF定制;



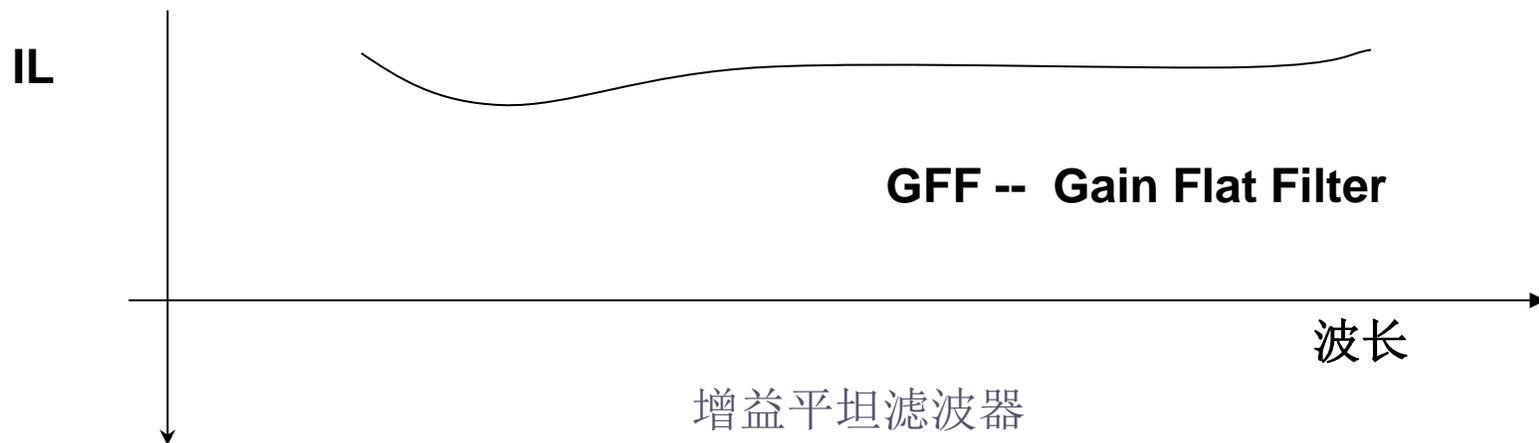
增益平坦技术---GFF



EDFA的增益谱曲线

增益不平坦度

使输出平坦



增益平坦滤波器

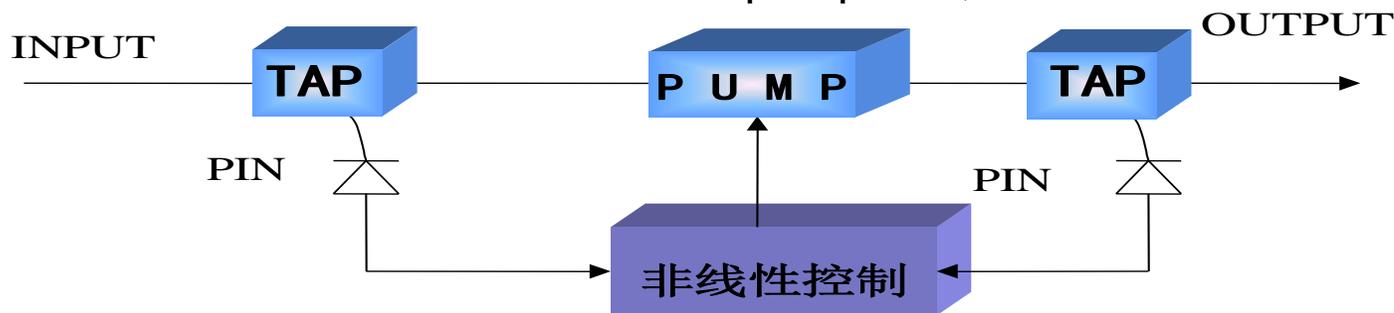
GFF -- Gain Flat Filter

要求：
增益平坦度 < 2dB

EDFA常见控制模式

AGC模式

输出随输入的变化而变化，增益保持不变。----- 波分系统里最常见的控制模式。
AGC又叫增益锁定模式，有多种实现方案，常见的是电控pump技术,如下：



通过检测输出、输入，得到实际增益；通过改变PUMP的功率来改变输出，使实际增益最终保持到目标增益。

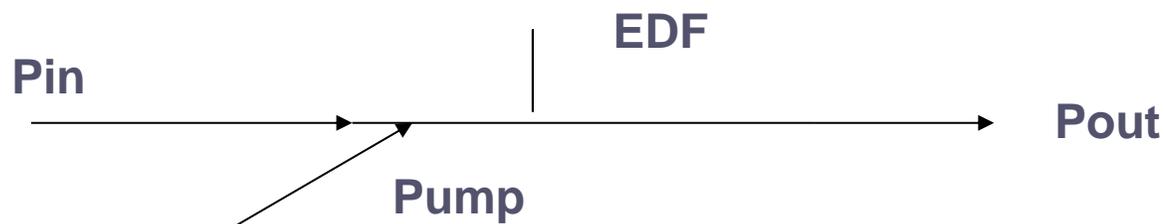
APC模式

无论输入如何变化，输出保持不变，此时变化的是增益。----- 可调增益使用的模式。

通过检测输出功率，与目标输出值比较，改变PUMP的功率来改变输出，使实际输出功率最终保持到目标输出功率。

为什么要进行AGC控制？

- 当其它条件不变的情况下，EDFA上下波给系统引入的问题：
- 波数增加时，由于进入EDFA的光功率增大，导致泵浦光功率对各波的贡献减小，单波光功率突然下降，如果此时的光功率低于接收机能够接收的最小光功率，则会出现瞬间的信号丢失，稳定后各波的增益均有一定程度的下降；

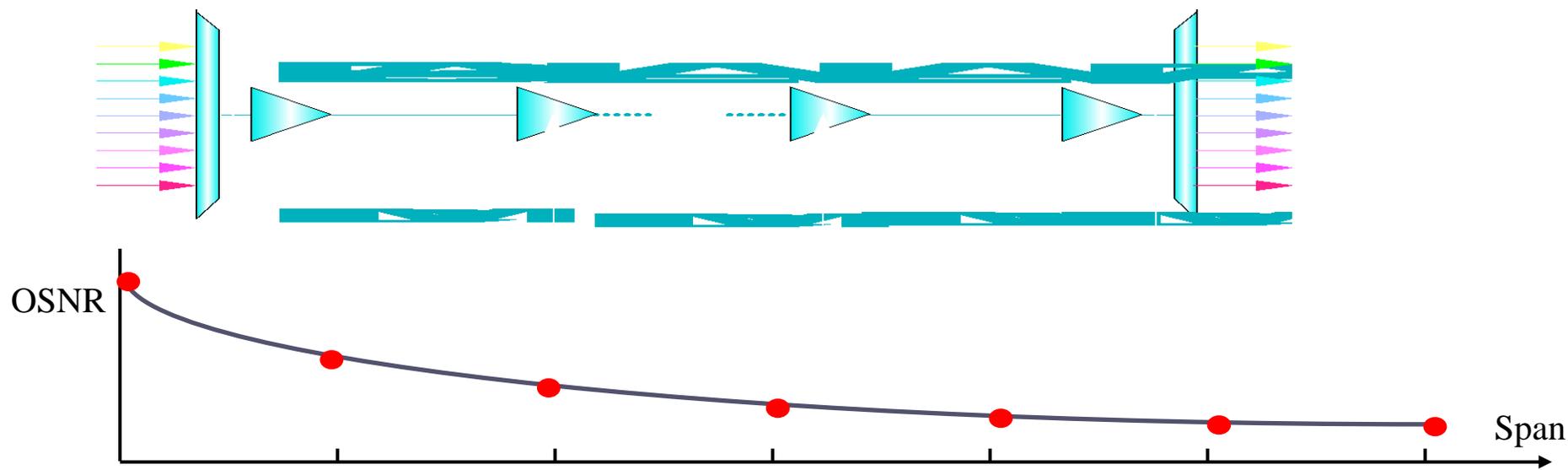


- 波数减少时，由于进入EDFA的光功率突然减小，过剩的泵浦光功率全部贡献给了余下的信道，导致单波光功率突然上升，如果此时的光功率高于接收机接收的最大光功率，则会对接收机造成过冲，稳定后各波增益会有一定程度的上升；
- 所以在波分系统中，放大器需要采取增益锁定技术。

EDFA噪声特性

- ✓ 放大自发辐射（ASE）是EDFA的基本噪声源，是系统OSNR劣化的主要因素，如下图。
- ✓ 放大器产生的自发辐射噪声功率为： $P_{ASE} = -58 + NF + G$ （dBm）

其中NF为光放大器噪声系数（dB）、G为光放大器的增益（dB）



EDFA重要性能参数---3 I

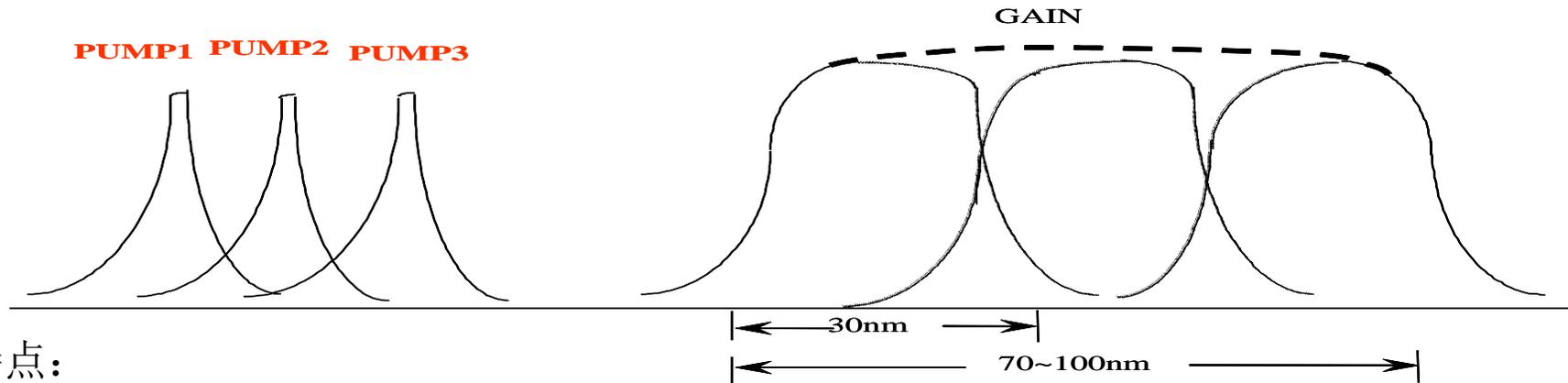
对下面几个参数的理解将有助于维护中的故障定位：

- 工作电流：也称作偏置电流，其决定着放大板的输出光功率。正常情况下，单板的输出功率不变，工作电流应该维护在一个相对稳定的状态。
- 制冷电流：制冷电流对应着制冷电路的调节。在放大板上制冷电流对应泵浦激光器的温度，随激光器温度的变化而变化。注意正负号的意义（负值表示加热）。
- 背光电流：背光电流是放大板的一个性能值，对应于功率检测，通过背光电流的大小可以知道激光器输出功率的大小。一般情况下我们是通过查看背光电流来判断泵浦激光器的好坏：



拉曼放大器原理

如果一个弱信号与一强泵浦光波同时在光纤中传输，并使弱信号波长置于泵浦光的拉曼增益带宽内，弱信号光即可得到放大，这种基于受激拉曼散射机制的光放大器即称为拉曼光纤放大器。

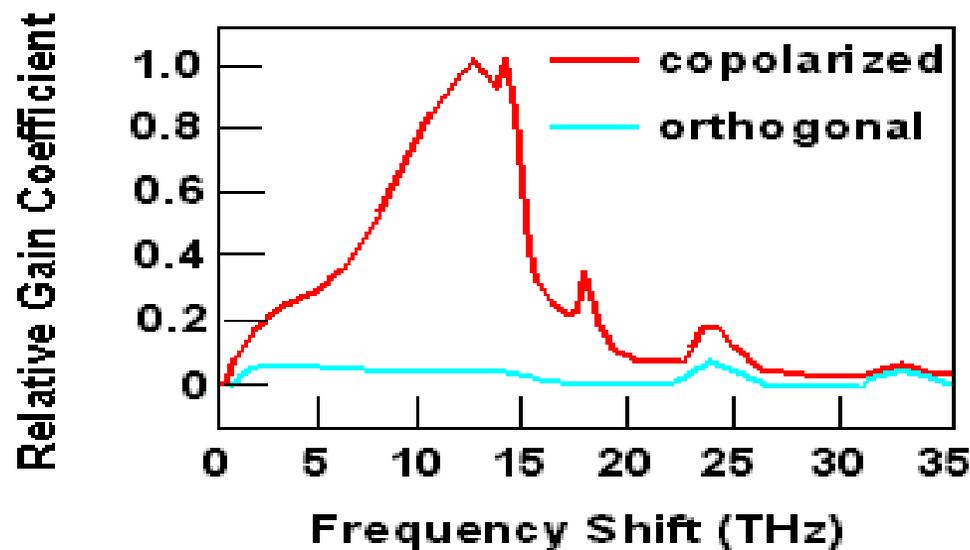


三大特点：

- 其增益波长由泵浦光波长决定，只要泵浦源的波长适当，理论上可得到任意波长的信号放大；
- 其增益介质为传输光纤本身；这使拉曼光纤放大器可以对光信号进行在线放大，构成分布式放大，实现长距离的无中继传输和远程泵浦；
- 噪声指数低，这使其与常规EDFA混合使用时可大大降低系统的噪声指数，增加传输跨距。

拉曼放大器原理

- 光纤非线性效应的巧妙运用、化废为宝的实例
- SRS——受激拉曼散射：入射光子能量转移到低频光上（频率下移13.2THz）
- 一个频率为 f_1 的光子入射到光纤中，当它的功率足够强，以至发生SRS效应时，它会将自身的能量转移到频率为 $f_1 - 13.2\text{THz}$ 的光子上，而自身以分子振动的形式消亡。
- SRS效应需要很强的光才能激发，这正是为什么拉曼放大器功率都很强很危险的原因。



的增益谱曲线

FRA放大是在普通光纤中，且没有波段的限制。理论上任何波长都可以放大。

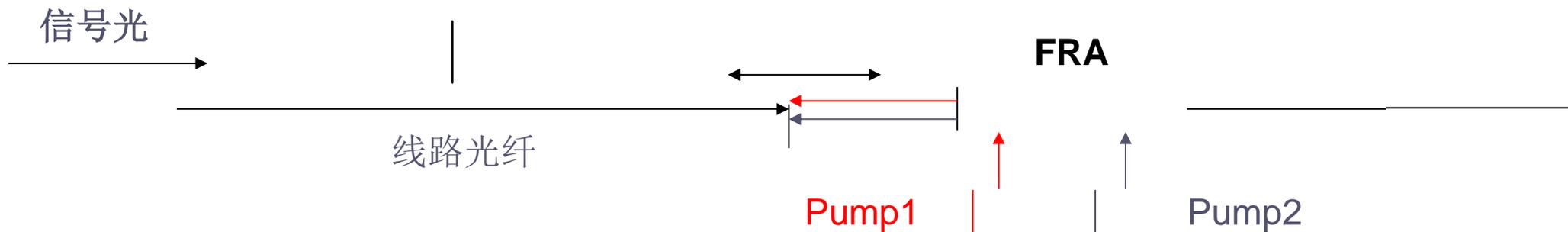
拉曼放大器原理

- ▶ 一个泵浦波长放大的范围有限。可以根据需要选择多个波长，进行合理叠加，即可得到任意波段的放大。
- ▶ 如果你想放大的波长频率为 f_2 ，则入射的泵浦源选择 $f_2+13.2\text{THz}$ 即可



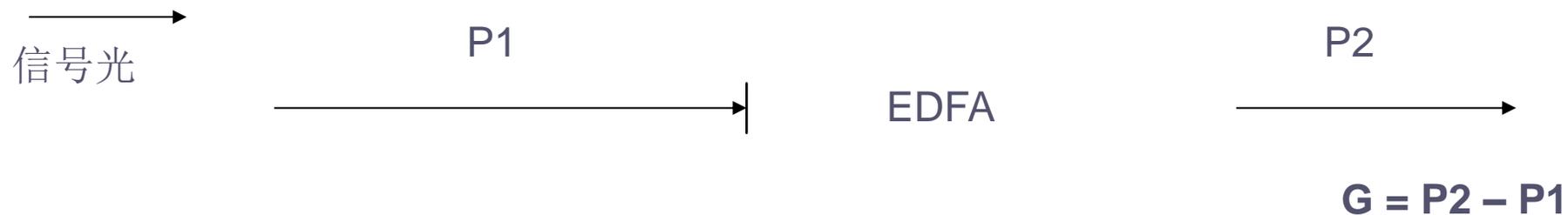
Pump源

- ▶ 拉曼放大器内部示意图:



放大器的增益 (G)

在EDFA中，增益 $G = P_{out} - P_{in}$



但是在FRA中， G 为开关增益，其定义及测试与EDFA有所不同：



$P1$ ：关闭FRA的泵浦源测试的结果； $P2$ ：开启FRA的泵浦源测试的结果

$$G_{on-off} = P2 - P1$$

注意在拉曼放大器中， $P1$ 、 $P2$ 测试的都是输出点的光功率

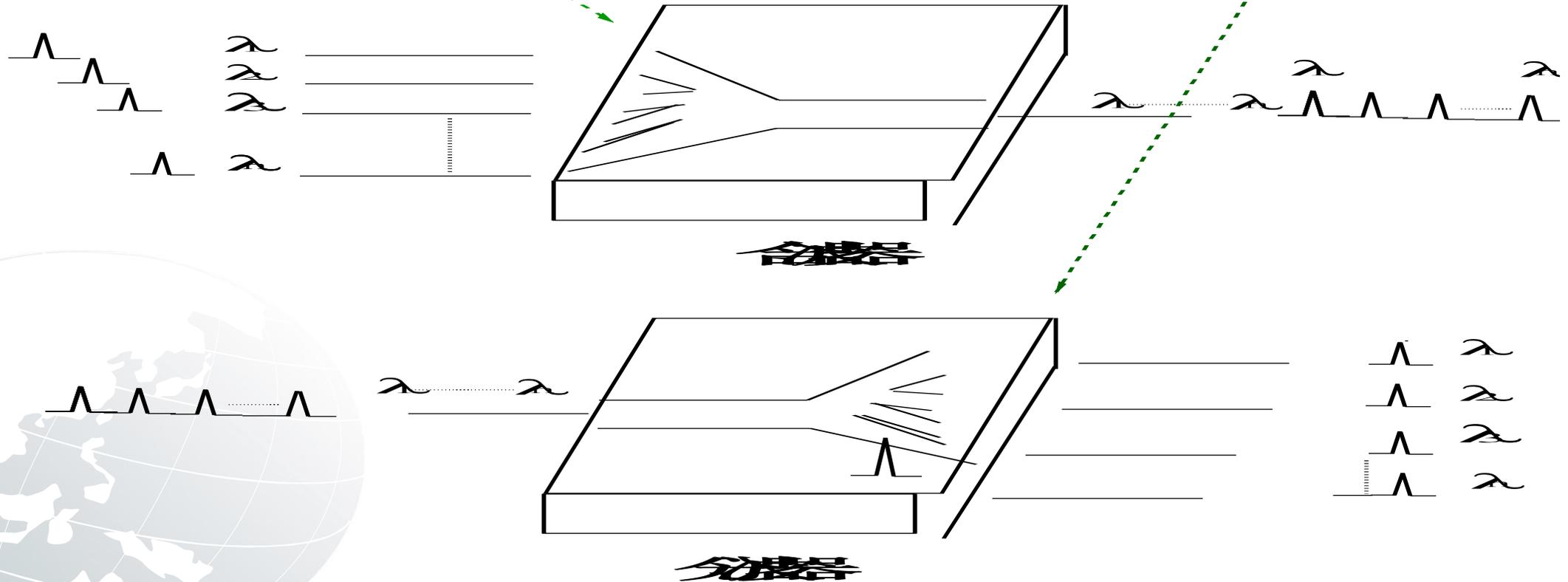
EDFA与FRA的比较

比较项目	EDFA	FRA
放大原理	半导体的受激辐射	非线性效应里的 SRS
放大介质	掺铒光纤（放大器内部）	普通光纤（线路光纤）
Pump源	980/1480nm	根据放大目标来选择 我司RPC为（1427/1457nm）
Pump光功率要求	一般	高， SRS 阈值高
工作带宽	C波段、L波段	理论上无限制，由pump组合决定
噪声	高	低
增益测试	常规增益	开关增益

合波器与分波器

合波器

分波器

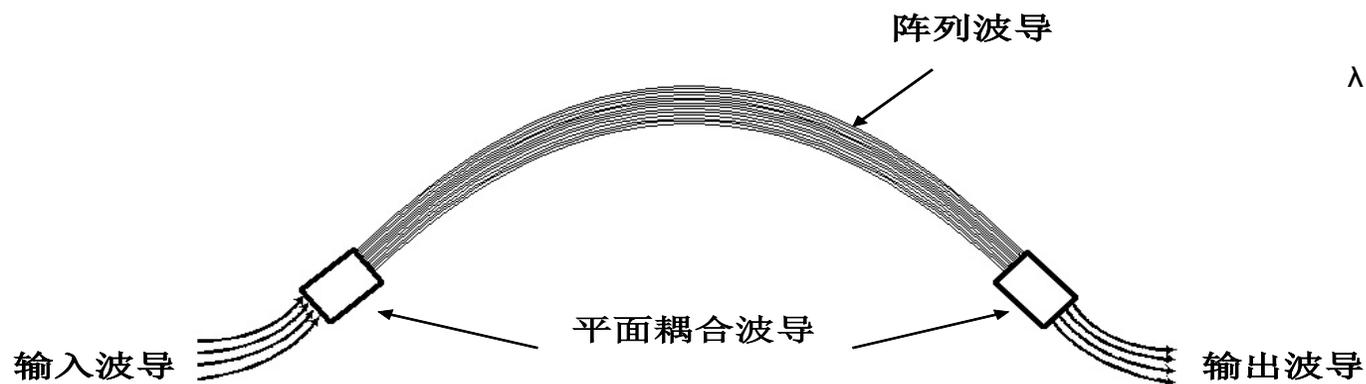


合波器与分波器

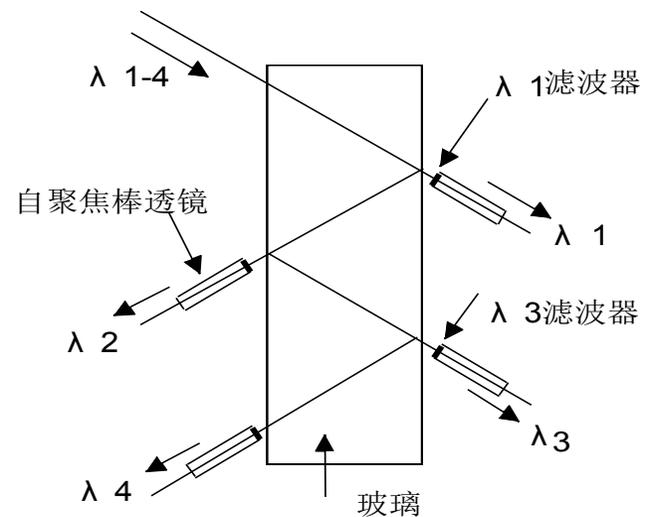
目前最常用的有三种器件：耦合型、介质膜型、AWG型。



耦合型



AWG型



介质膜型

DWDM对光监控信道有以下要求:

- 光监控通道不限制光放大器的泵浦波长;
- 光监控通道不限制两个光线路放大器之间的距离;
- 光监控通道不限制未来在1310nm波长的业务;
- 线路放大器失效时光监控通道仍然可用;

典型OSC信息的帧结构



监控通路的2Mbit/s系统物理接口应符合G.703要求。其帧结构和比特率符合G.704的规定：



0	帧定位信号	01	E1字节
02	F1字节	3~15	D1~D12字节
17	F2字节	18	F3字节
19	E2字节	14	ALC字节
20	APE字节	其余	备用

ESC技术

- 波分产品以前对网元进行操作、管理和维护（OAM）都是采用专用的监控信道单板OSC实现。随着技术的发展，从降低产品成本的角度出发，人们提出了利用固定帧结构业务中的开销字节进行DCC通信的思路，直接通过OTU单板的对接实现网元间的通信，这就是电监控信道（ESC）。
- ESC是采用随路的方式，即监控信息随主业务信号一起传送，到对端再将他们分离，这种方式不再另外占用波长资源。
- 从单板的实现原理上ESC可以细分为两种：固定帧格式DCC、调顶DCC。
- 固定帧结构DCC又可以分为固定SDH帧结构DCC和基于G. 709帧结构GCC两种。

降成本方案

本章小结

- WDM中常用的光源有哪些？它们各自的特点是什么？
- WDM中接收机有几种？它们的主要区别何在？
- EDFA的工作原理是什么？EDFA是如何引入噪声的？
- 何为EDFA的增益锁定？何为平坦度？何为EDFA的3 dB ?
- 合波分波器有几种类型？我们目前使用的是哪种？
- DWDM对光监控信道的要求有哪些？

课程内容

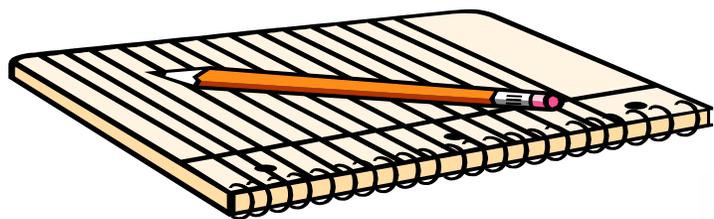
第一章 波分复用技术概述

第二章 WDM 的传输媒质

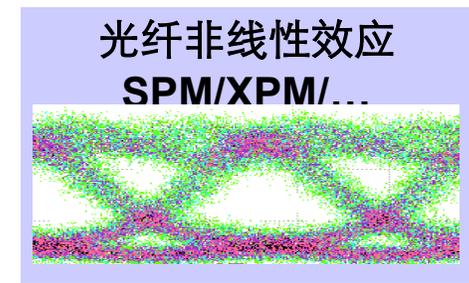
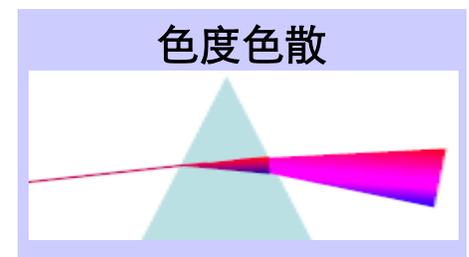
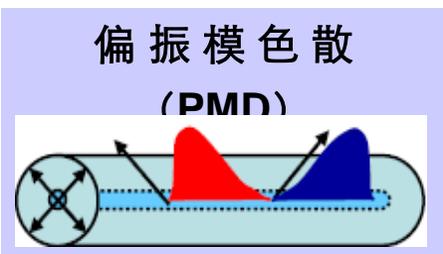
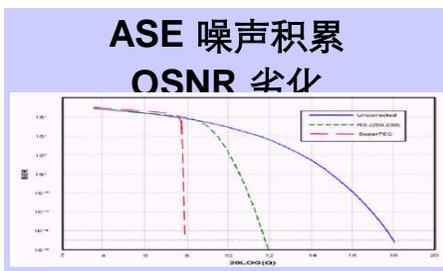
第三章 DWDM的关键技术

第四章 WDM系统受限因素

第五章 典型组网信元流



DWDM系统受限因素



- 四大受限因素：衰耗、色散（色度色散和偏振模色散）、信噪比、非线性。其中衰耗用放大器解决，已不是主要问题
- 40G对光纤传输提出了更加严格的要求，在同等物理条件下与DWDM 10G 传输系统相比，40G 有如下限制：
 - ◆ 信噪比（OSNR）劣化 4倍（6dB）、色度色散容限降低16倍、偏振模色散（PMD）劣化4倍、非线性效应变得更加明显

OSNR的计算

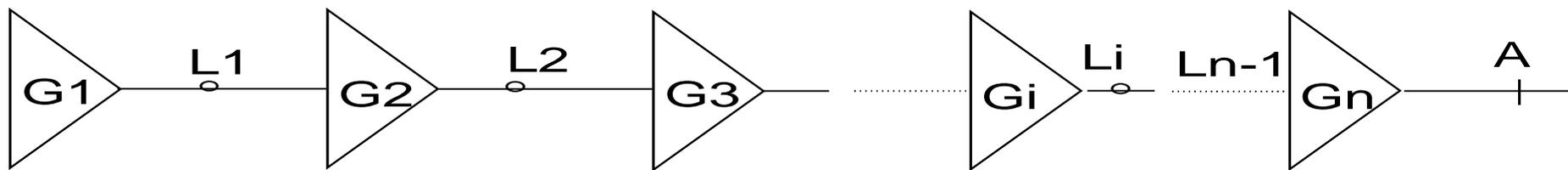
“噪声指数 (NF)”是描述光放大器的关键参数之一，它描述了光放大器产生的ASE噪声的相对大小：

$$NF = \frac{1}{G} \left(1 + \frac{P_{ASE}}{h\nu\Delta\nu} \right), \quad \Delta\nu = 12.5GHz$$

$$NF(\text{dB}) = P_{ASE}(\text{dBm}) + 58 - G(\text{dB})$$



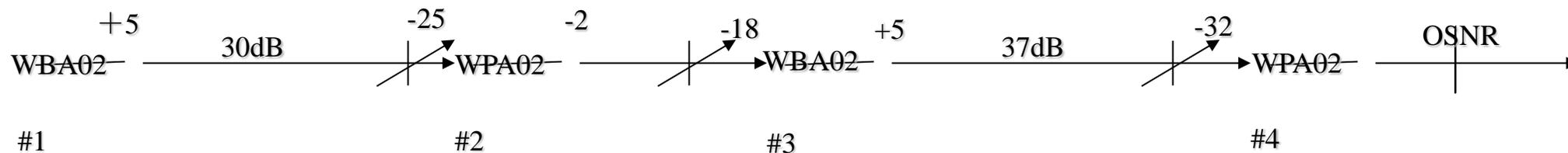
单个放大器产生的噪声： **$P_{ase} = -58 + NF + G$ (dB)**



通常，我们说的信噪比是指最后一个放大器输出端的信噪比，对于输出端A点，有 $OSNR = P_s(A) / P_{ase}(A)$

其中 $P_s(A)$ 为A点信号功率； $P_{ase}(A)$ 为A点噪声功率，它等于所有放大器的噪声功率在A点的累积值。

OSNR计算实例



- ◆ 各放大器产生的自发辐射噪声为(NF约为5dB)：

$$P_{ase1} = P_{ase2} = P_{ase3} = P_{ase4} = -58 + 5 + 23 = -30(\text{dB}) = 1\text{E}-3(\text{mw})$$

- ◆ 末端站输出点的总噪声功率为：

$$P_{ase} = (P_{ase1} - L1 + G2 - L2 + G3 - L4 + G4) + (P_{ase2} - L2 + G3 - L4 + G4) + (P_{ase3} - L4 + G4) + P_{ase4} =$$

$$1\text{E}(-3-3+2.3-2+2.3-3.7+2.3) + 1\text{E}(-3-2+2.3-3.7+2.3) + 1\text{E}(-3-3.7+2.3) + 1\text{E}(-3) \\ = 0.00001589 + 0.00007943 + 0.00003981 + 0.001 = 0.00113513(\text{mw}) = -29.45(\text{dBm})$$

- ◆ 末端输出点的信噪比为： $OSNR = P_s(\text{mW}) / P_{aseh}(\text{mW}) = P_s(\text{dB}) - P_{ase}(\text{dB})$

$$= -9 - (-29.45) = 20.45\text{dB} > 20\text{dB}$$

因此通过计算信噪比满足系统的要求。

OSNR计算实例

新配置

放大器-1

增益: 23.00

噪声指数: 5.00

输入功率: -32.00

输出功率: -9.00

线路衰减: 37.00

辐射噪声: -30.00

ASE偏移: 0.00

ASE贡献: -30.00

站点	放大器个数	放大器1信噪比	放大器2信噪比
#1	1	35.00	-
#2	1	27.21	-
#3	1	26.54	-
#4	1	19.93	-

总信噪比: 19.93(dB)

此工具得出的信噪比值（19.93dB）与用公式计算的值（20.45dB）相差不大，如果用CAS.EXE计算的符合要求的值，那么实际的网络OSNR就是满足要求的。

注：此工具放在7.0资料光盘中：“\7.0中文资料光盘\05-波分产品族资料\01-波分公共\03-功能与特性\02-仪器工具\01-信噪比粗略计算工具”下。

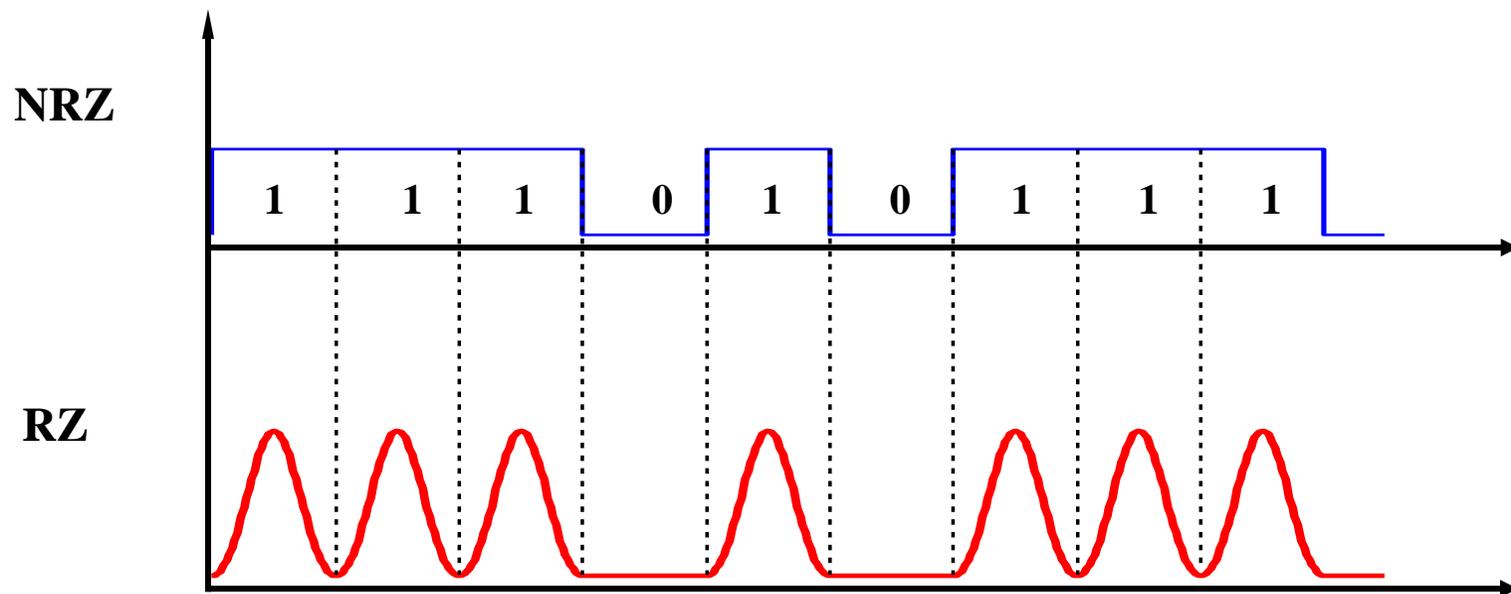
如何提高信噪比裕量



- ✓ 提高系统的OSNR:
 - 1、采用低噪声前置光放大器+高增益功率光放大器;
 - 2、采用拉曼放大器, 使之与EDFA配合使用, 降低NF;

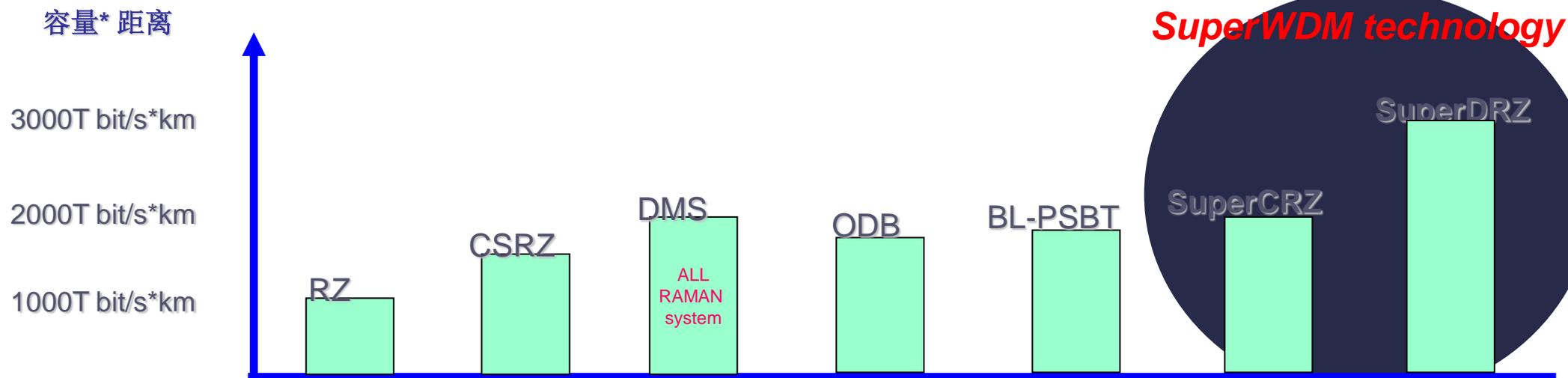
- ✓ 降低系统的OSNR的容限:
 - 1、采用前向纠错技术—FEC or EFEC or AFEC
 - 2、使用特殊码型技术

信号码型技术



- ◆ 较小的duty cycle ;
- ◆ 同等OSNR条件下更大的Q值冗余度;
- ◆ 更高的抵抗光纤色散和非线性失真的能力;
- ◆ 更高的抵抗PDM导致的接收眼图畸变的能力;

信号码型技术

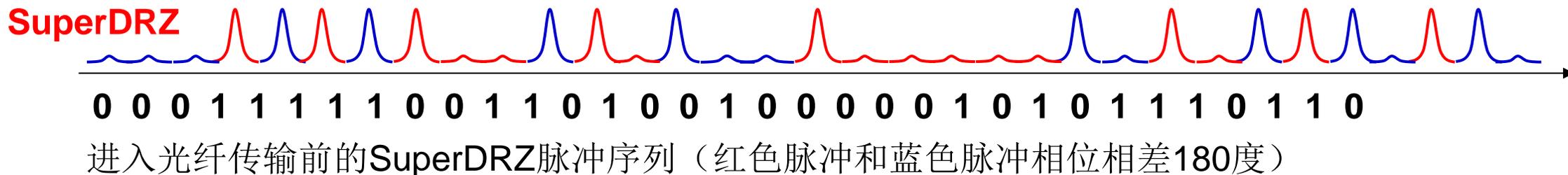


编码技术比较

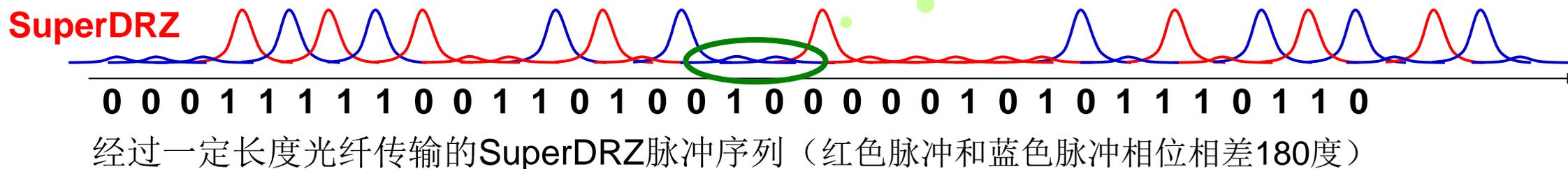
	编码调制技术	非线性能力	色散容限	光谱效率	备注
RZ	RZ	good	Normal	50GHz	
	CSRZ	good	Normal	50GHz	
	DMS	Very excellent	Good	50GHz	工程实施负责, 需要RAMAN放大器
	SuperCRZ	Very excellent	Nomal	50GHz	
	SuperDRZ	Excellent	Good	25GHz	在非线性、色散、和光谱效率三方面取得最佳平衡

DRZ码型技术

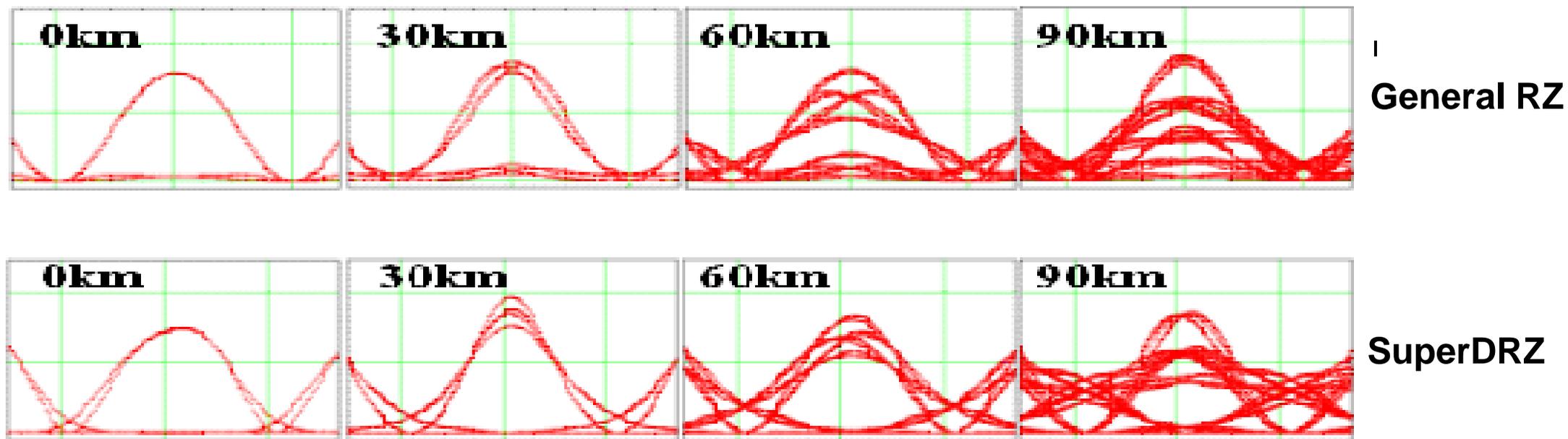
- SuperDRZ利用差分信号输入产生正的和负的脉冲，用以驱动MZ调制器；经过调制后的光脉冲序列（SuperDRZ编码）相邻“1”码之间的相位差180度（相位相反）。



- 随着光信号在光纤里的传输，光脉冲会展宽；但由于相邻的“1”码之间的相位是相反的，因此相邻的“1”码即使有重叠，反映在光强度上仍然趋于“0”。



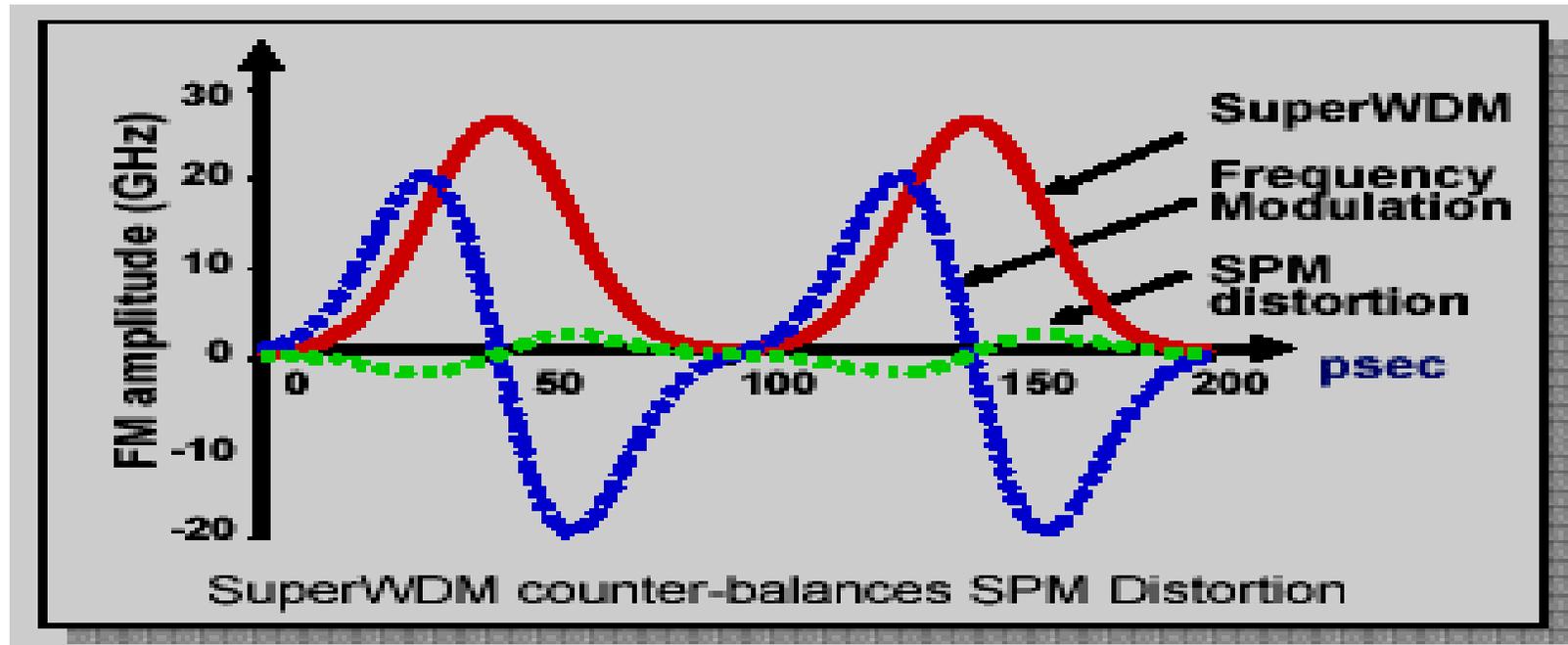
DRZ减少码间干扰



信号不同传输距离后的眼图

- 相比RZ具有更大的色散容限，可以有效减少码间干扰
- SuperDRZ PMD容限比RZ高

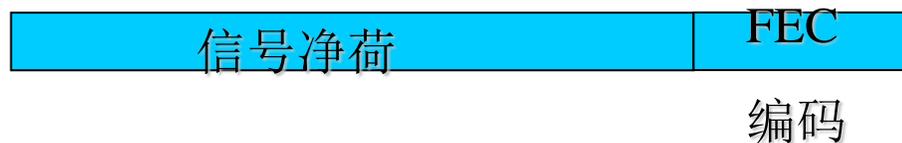
DRZ优秀的非线性容限



- DRZ通过使用可控制的啁啾调制，继承了SuperWDM在非线性容限方面的优越性能。
- 特殊的频率调制能够抑制非线性效应 自相位调制 (SPM)、四波混频 (FWM), 喇曼散射 (SRS) 和布里渊反射 (SBS)。

FEC技术

FEC技术有带内FEC和带外FEC两种，DWDM单板主要采用带外FEC技术，带外FEC由ITU-T G.975/709标准支持。



- ◆ ITU-T G.975利用RS (255, 239) 码对SDH信号直接进行FEC编/解码;
- ◆ ITU-T G.709对OTN网络进行了结构描述，其中FEC开销被直接定义到了OTN网络的OTUk层。

RS (255, 239) 纠错前后的理论BER对比表

FEC纠错前的BER	FEC纠错后的BER
1.0E-3	8.6E-8
2.0E-4	2.0E-12
1.0E-4	5.0E-15
1.0E-5	6.3E-24
1.0E-6	6.4E-33

FEC技术

- G. 709里的FEC及扩展FEC:

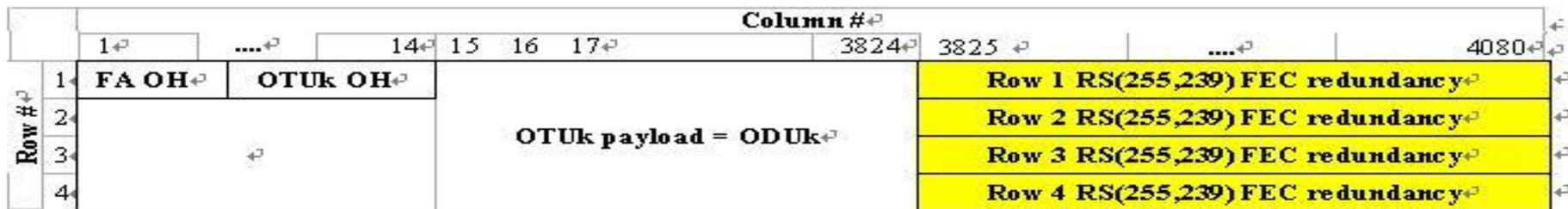


图1. 标准 OTUk 帧结构

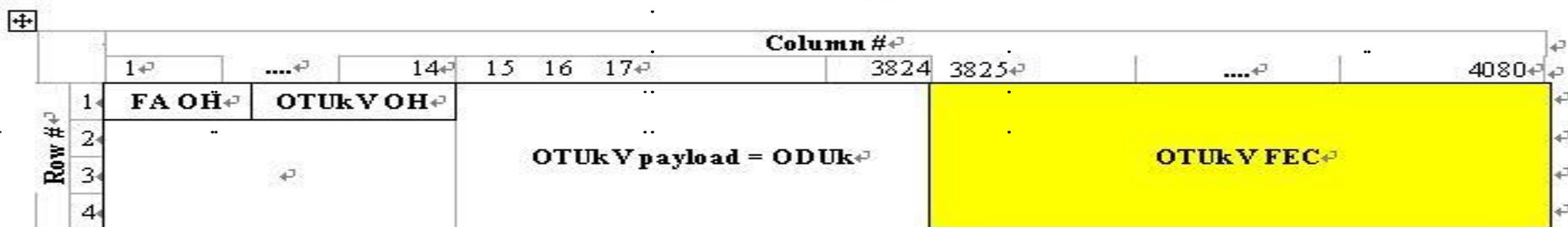


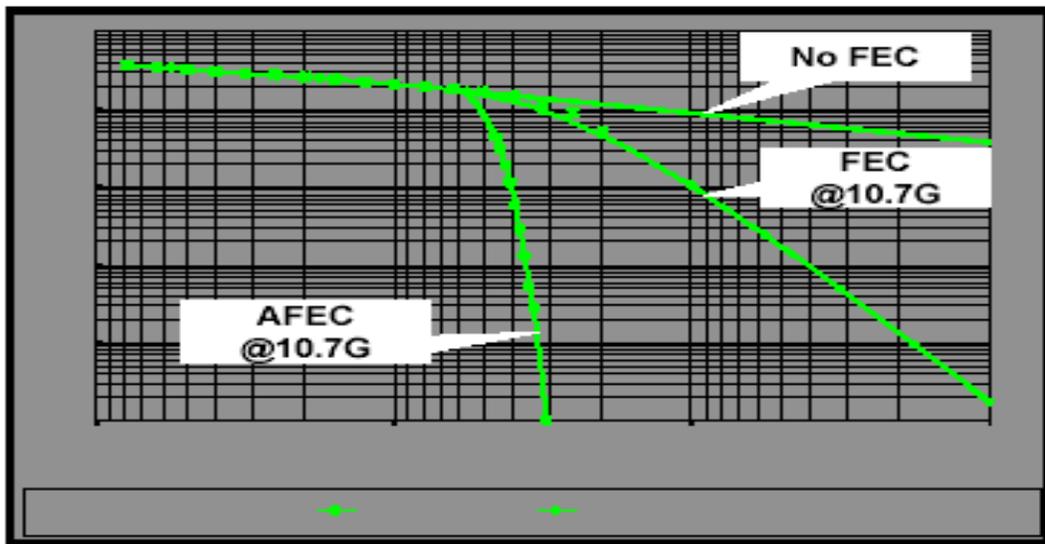
图2. 扩展 OTUk 帧结构—FEC 编码类型扩展



图3. 扩展 OTUk 帧结构—FEC 开销大小扩展

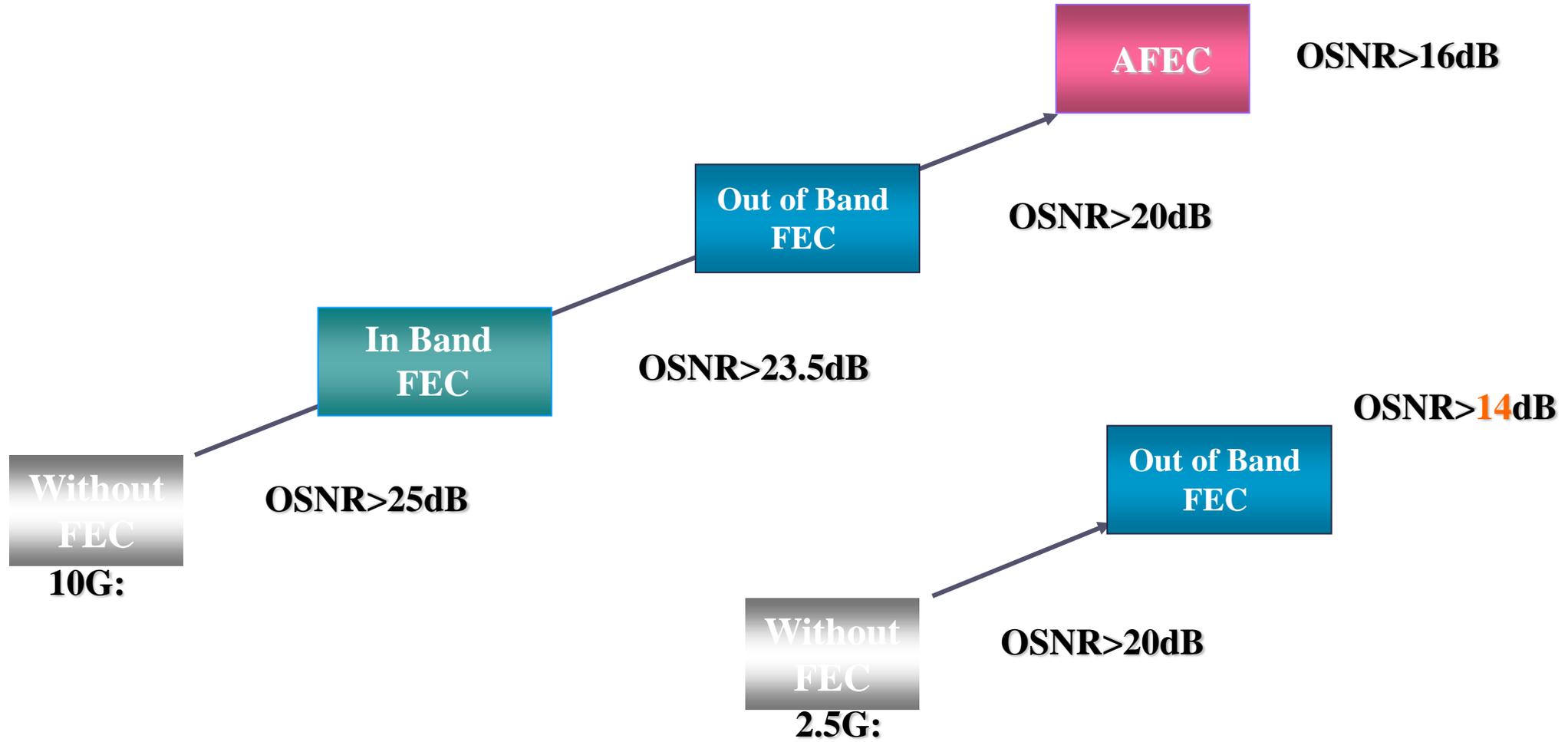
FEC技术

编码	编码算法	编码增益	线速	标准
Out-of-band FEC	RS(255,239)	5~7dB	10.7Gbps	G.709
Enhanced-FEC	RS(255,238) RS(245,210)	7~9dB	12.5Gbps	No
Advanced-FEC	RS(255,238) BCH(900,860) BCH(500,491)	7~9dB	10.7Gbps	G.709



- ◆ AFEC的线速与带外FEC相同，但编码增益更高。
- ◆ AFEC的编码增益与EFEC相当，但线速更低，因此带宽代价较少。
- ◆ AFEC符合G. 709标准定义的帧格式。

FEC对OSNR的要求



目前降低光纤色度色散的影响主要是采用色散补偿模块对光纤中的色散累积进行补偿。色散补偿主要有两种方式：

- 1、一种是色散补偿光纤（DCF， Dispersion Compensation Fiber）法；
- 2、一种是色散补偿光栅法，即啁啾光纤光栅(CFG， Chirped Fiber Grating)法；

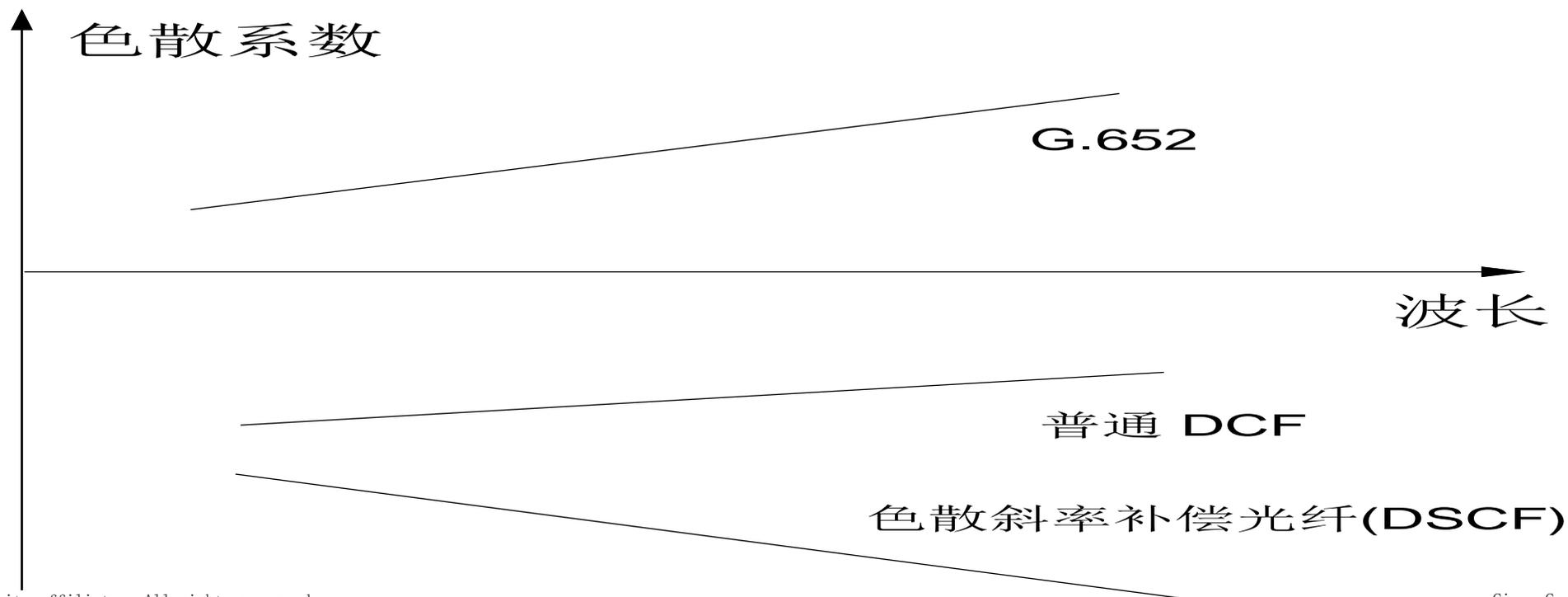
DWDM系统目前采用DCF来进行色散补偿

DCF色散补偿技术



色散补偿光纤与普通传输光纤的不同之处是它在1550nm处具有负的色散系数，DCF补偿法实际上就是利用这种负色散的光纤，接入G652 光纤系统中抵消 G652 光纤的正色散。

其色散系数典型值为-90ps/（nm·Km），因而DCF只需在总线路长度上占G.652 光纤的长度的1/5,即可使总链路色散值接近于零。



DCM色散补偿规格计算



色散受限距离=(色散容限/色散系数)+DCM补偿-(10~30)

(确保系统有10~30公里冗余度)

10G波长转换板色散容限为700ps/nm，若在G.652光纤中传输，其色散系数为 17ps/nm.km，考虑到系统的冗余度10~30km，无补偿最大传输距离 $L=700/17-(10\sim30)=10\sim30\text{km}$ 。也就是说：系统传输距离超过30km时就必须加入DCM进行补偿；同理，若在G.655光纤中传输，其色散系数为4.5ps/nm.km，无补偿最大传输距离 $L=700/4.5=155\text{km}$ ，考虑余量后，传输距离超过100km时必须加入DCM补偿。

➤ G.652光纤中，计算公式为：

$$\text{DCM} \geq L - [(\text{色散容限}/\text{色散系数}) - (10 \sim 30)] \quad = L - [(700/17) - (10 \sim 30)] \quad = L - (10 \sim 30)$$

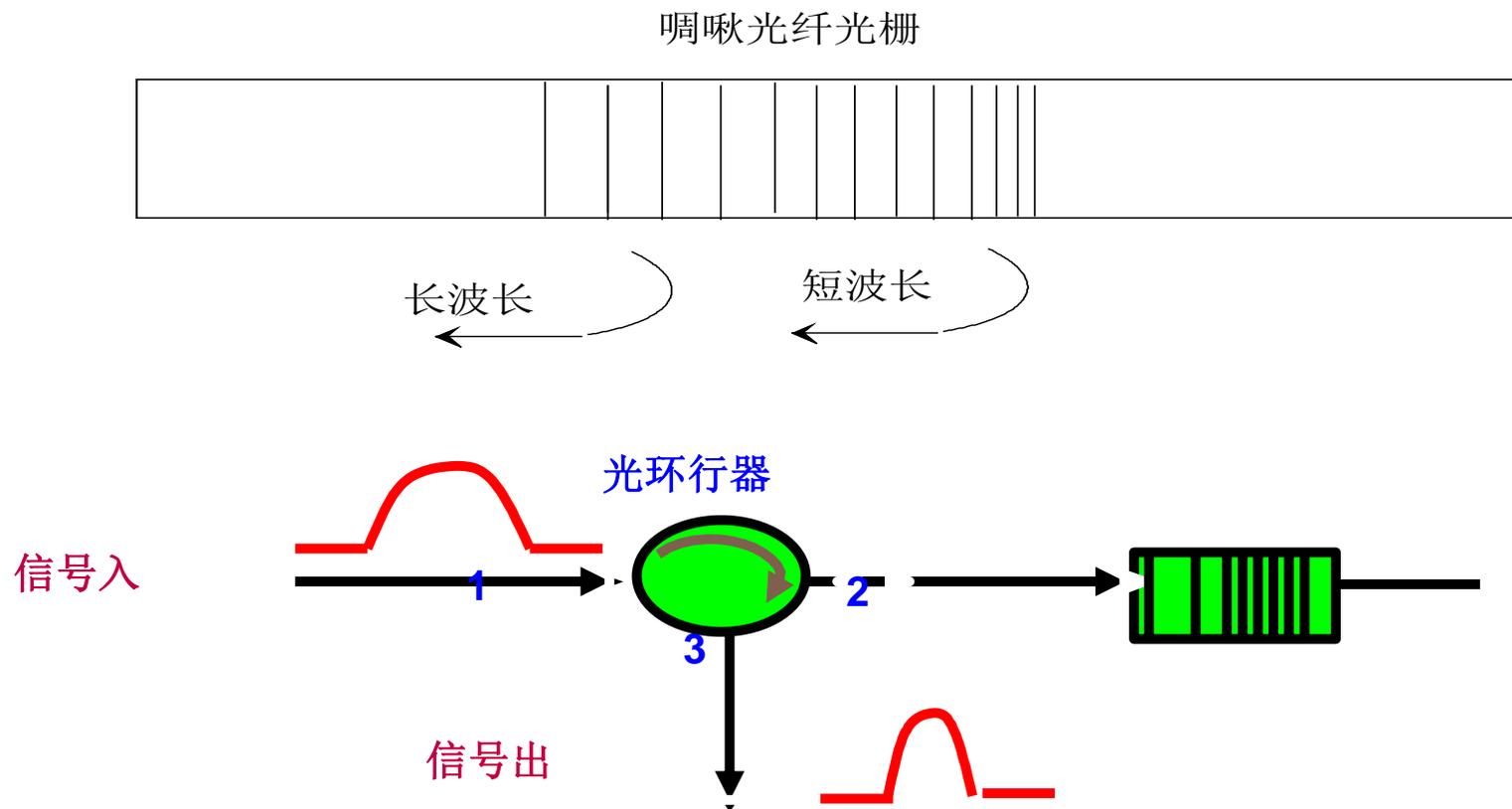
➤ G.655光纤中，计算公式为：

$$\text{DCM} \geq L \times (4.5/17) - (10 \sim 30) = Lx - (10 \sim 30)$$

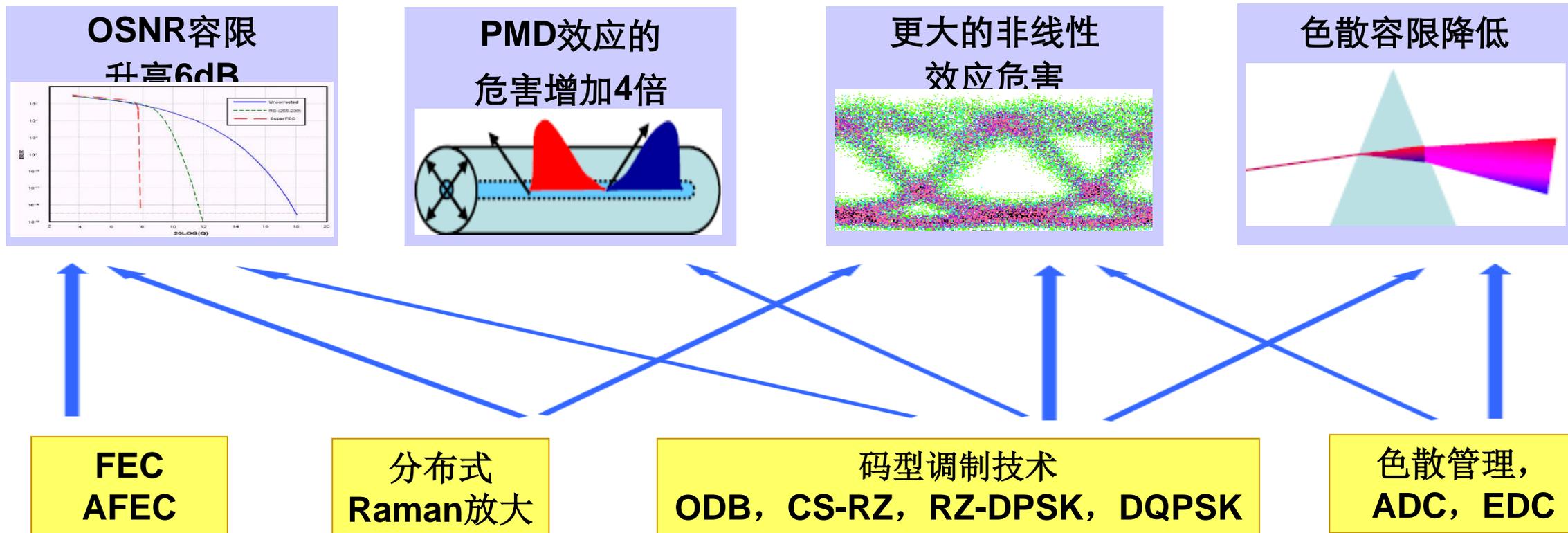
注：首先将G.655折算成G.652长度： $Lx=L \times (4.5\text{ps}/17\text{ps})$

CFG补偿技术

◆ 啁啾光纤光栅（CFG, Chirped Fiber Grating），它是用紫外光经过模板照射在光纤上刻蚀而成，使得光纤内折射率呈周期性的变化。入射脉冲中不同频率的光在光栅中不同位置反射，其耦合是在两个反向传播模之间发生的。反射的时延调整到使之与光纤传输所产生的时延大小相等、方向相反。



40G传输关键技术



在同等物理条件下，DWDM 40G 要达到与现有DWDM 10G 同等性能，必须具备：

- AFEC 提高克服白噪声的纠错能力，降低系统OSNR要求6dB；
- 先进的编码调制技术，全面提升传输性能，降低OSNR, PMD, 非线性、色散等各方面的限制。
- 新型色散管理技术（如：ADC），提高色散容限，减少非线性。

本章小结

- WDM系统的受限因素主要有哪些？
- 公司的色散补偿采用了哪种技术？
- 改善信噪比的途径有哪些？

课程内容

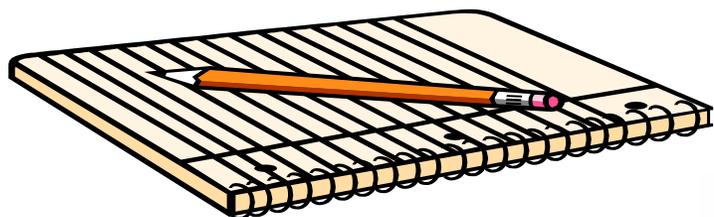
第一章 波分复用技术概述

第二章 WDM 的传输媒质

第三章 DWDM的关键技术

第四章 WDM系统受限因素

第五章 典型组网信元流



波分网络单元类型

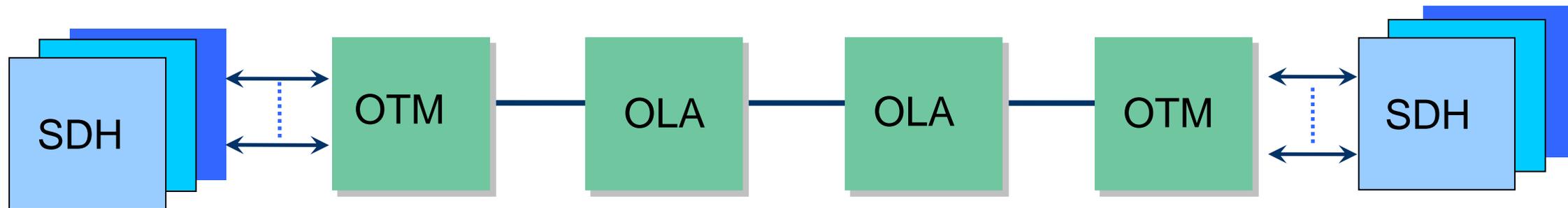
按用途可分为:

- ↑ 光终端复用设备(OTM)
- ↑ 光线路放大设备(OLA)
- ↑ 光分插复用设备(OADM)
- ↑ 电中继设备(REG)

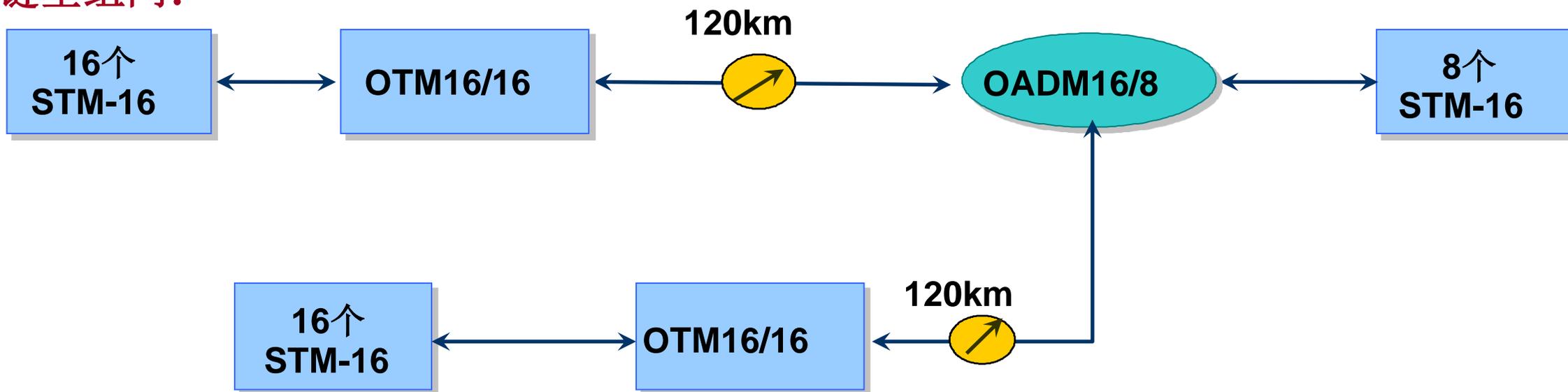
下面以BWS 1600G设备为例, 介绍组网信号流。

组网类型介绍

点到点组网:

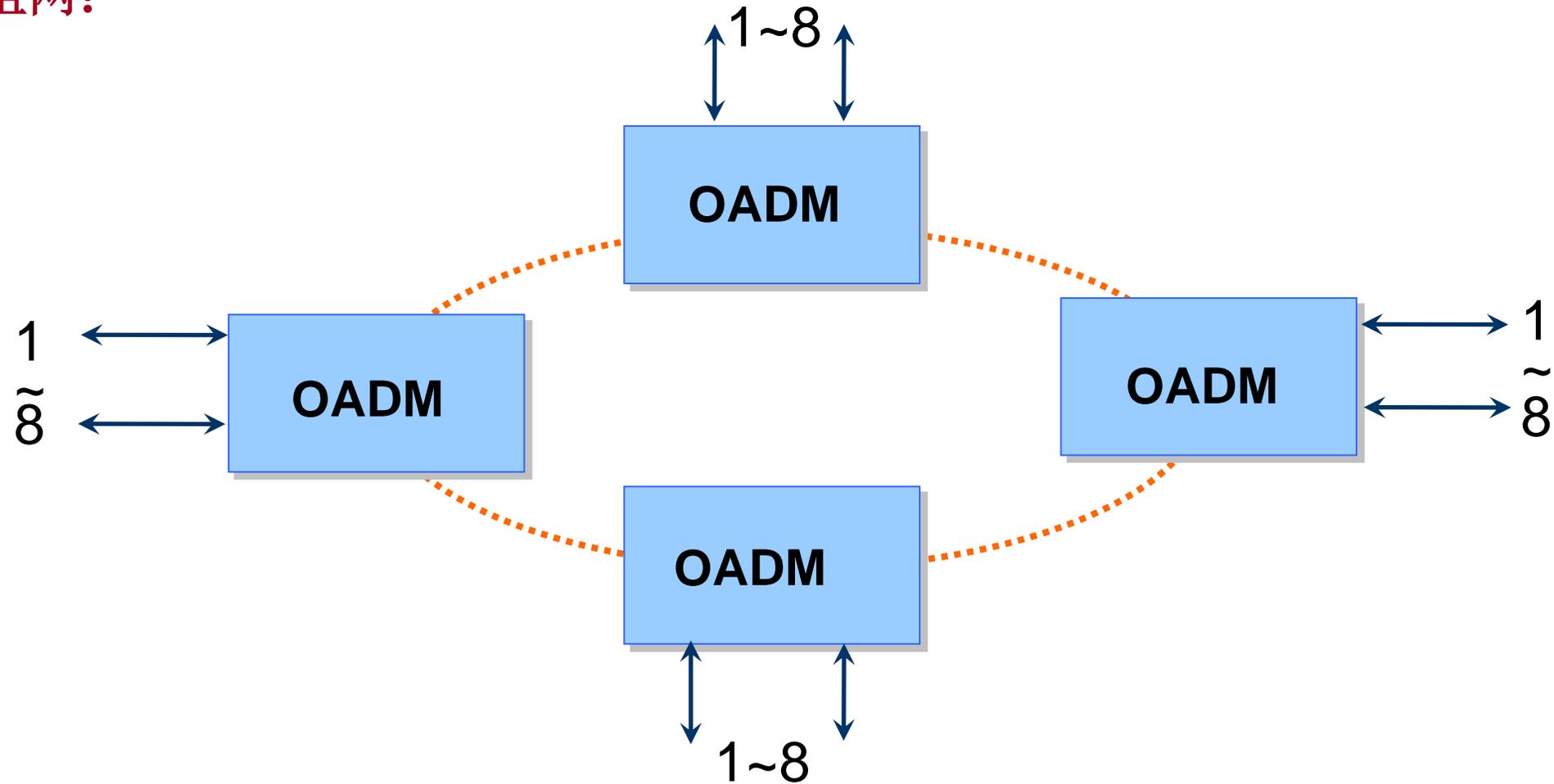


链型组网:

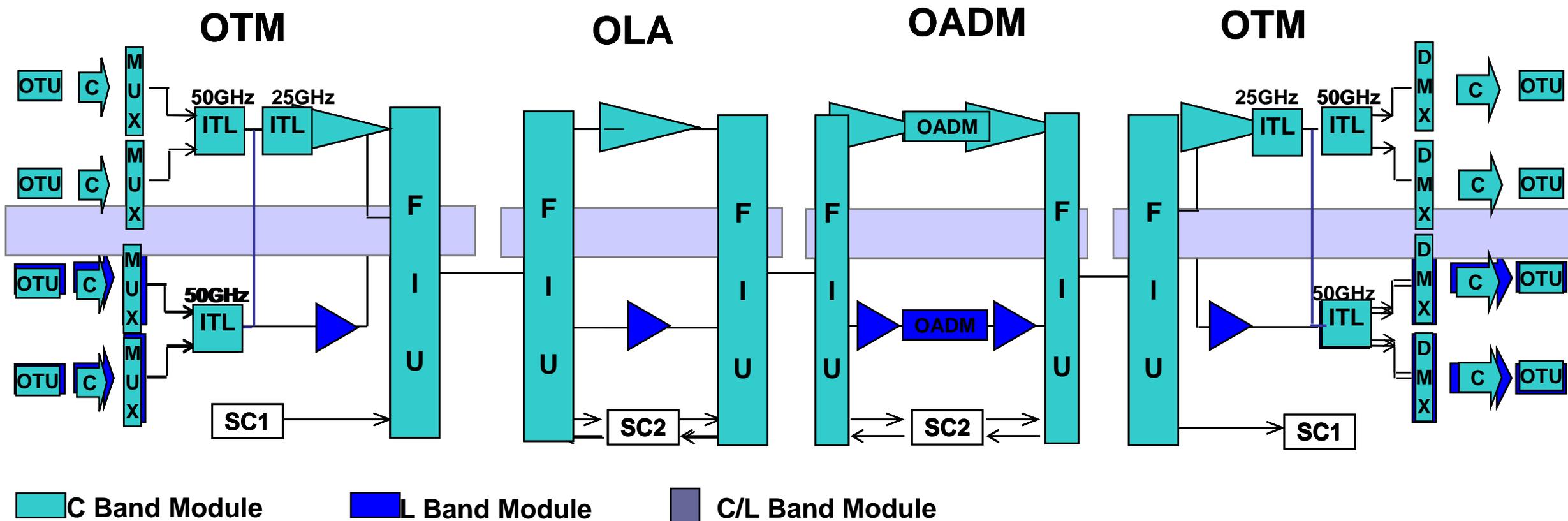


组网类型介绍

环网组网:



1600G组网示意图

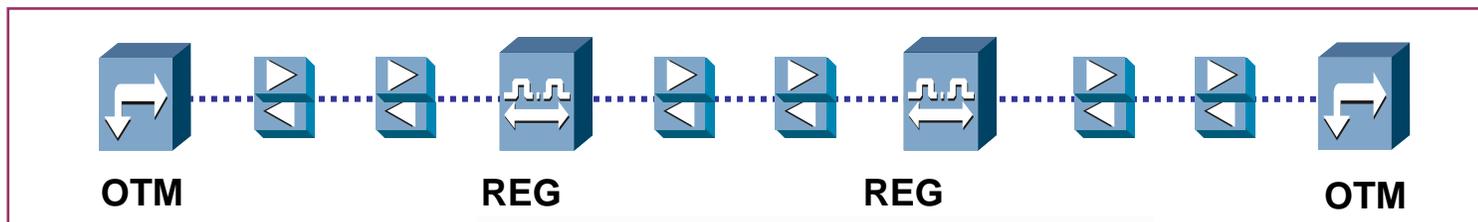


新的系统结构只采用C波段模块，增加一级25GHz波长间隔的Interliver，放弃了昂贵的L波段器件，支持模块化升级方式。

1600G组网演进

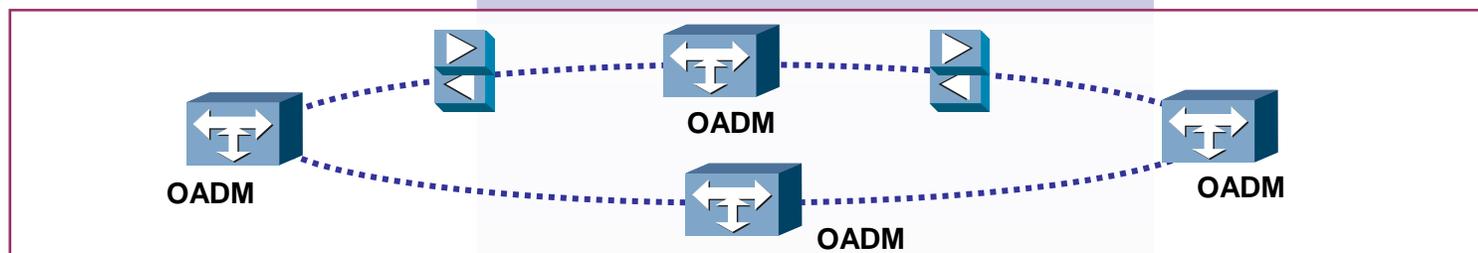
第一阶段:

- 点到点组网
- 600公里无电中继传输



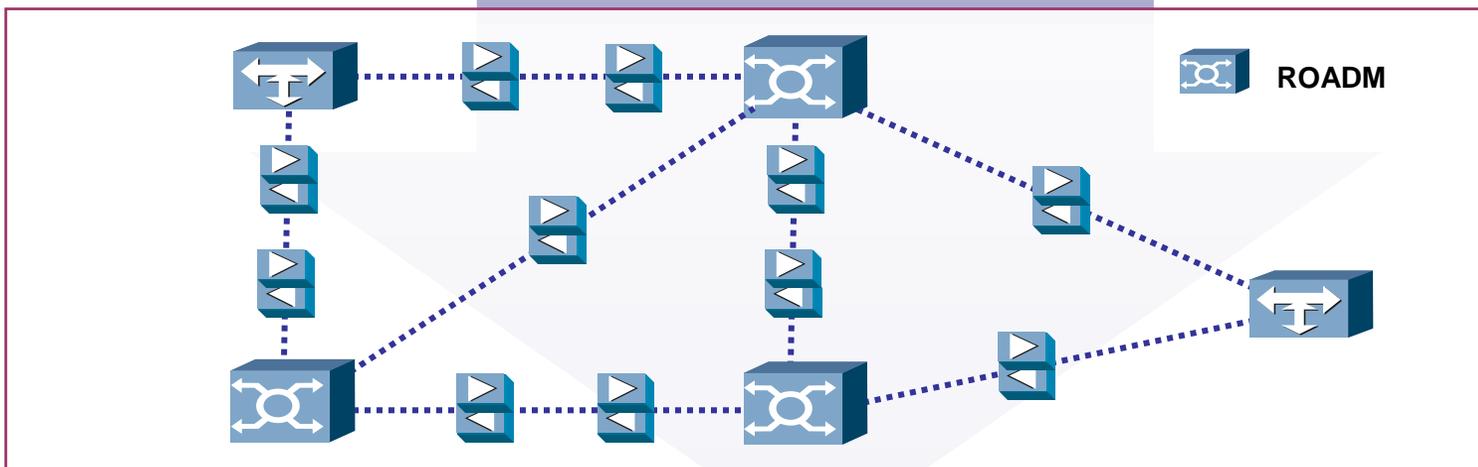
第二阶段:

- 环形组网
- 2000-3000公里无电中继传输能力—降低OEO成本



第三阶段:

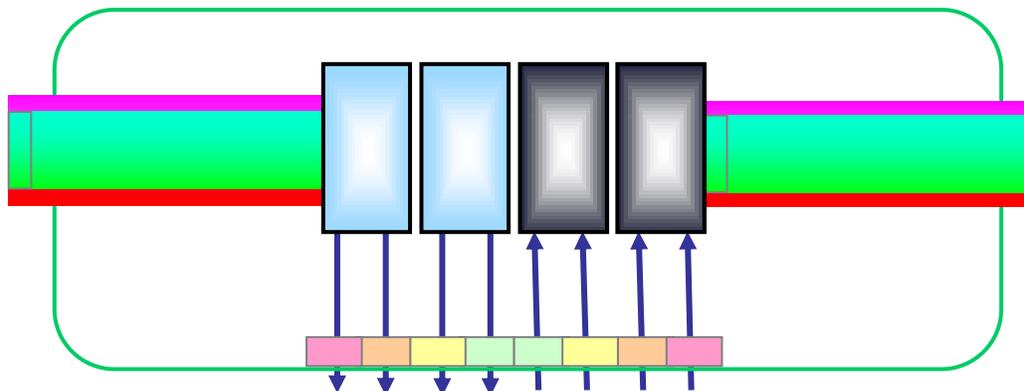
- 环形/MESH组网
- 支持基于ROADM技术的动态网络
- 4000-5000公里无电中继传输能力



多样化的FOADM

❖ FOADM I

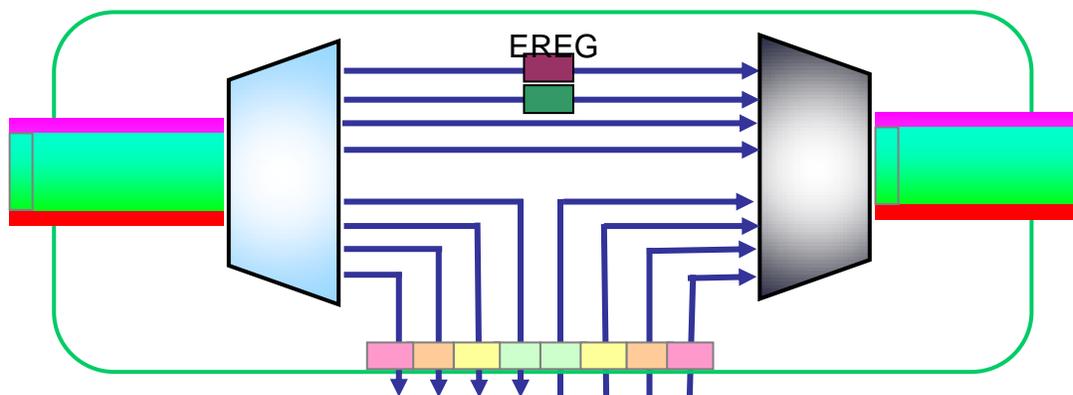
多层介质膜技术
串行OADM



- 低成本
- 结构简单
- 最大16波上下

❖ FOADM II

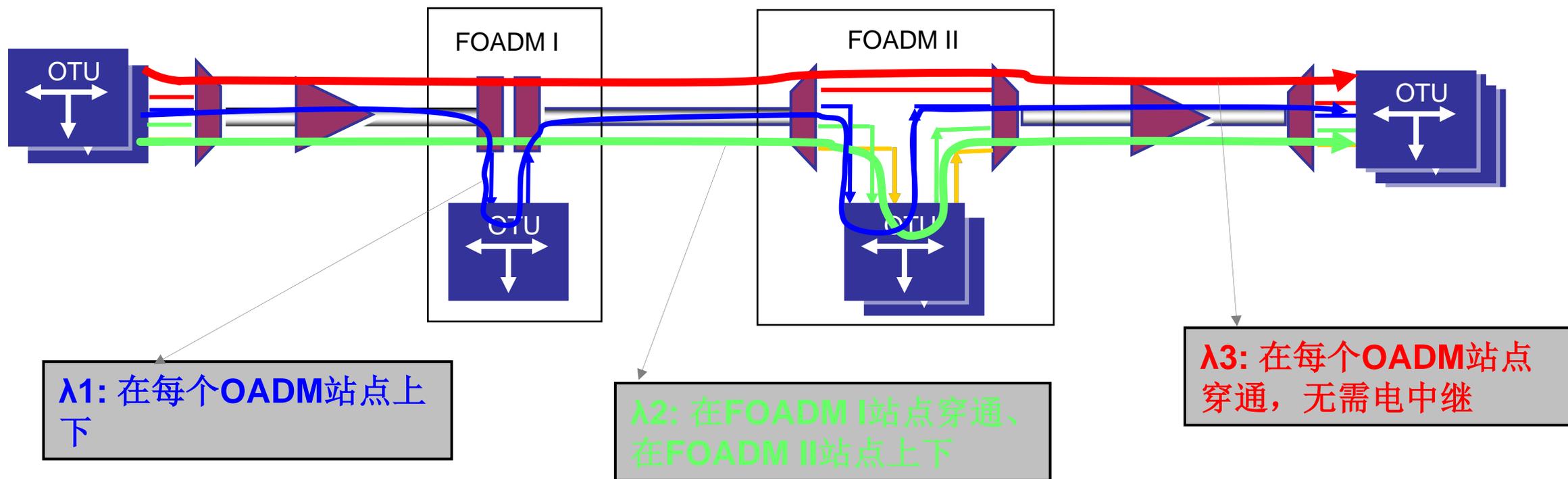
AWG技术
并行OADM



- 支持在线升级
- 100%业务上下
- 直接穿通，无需电中继
- 从2维至3维的扩展能力

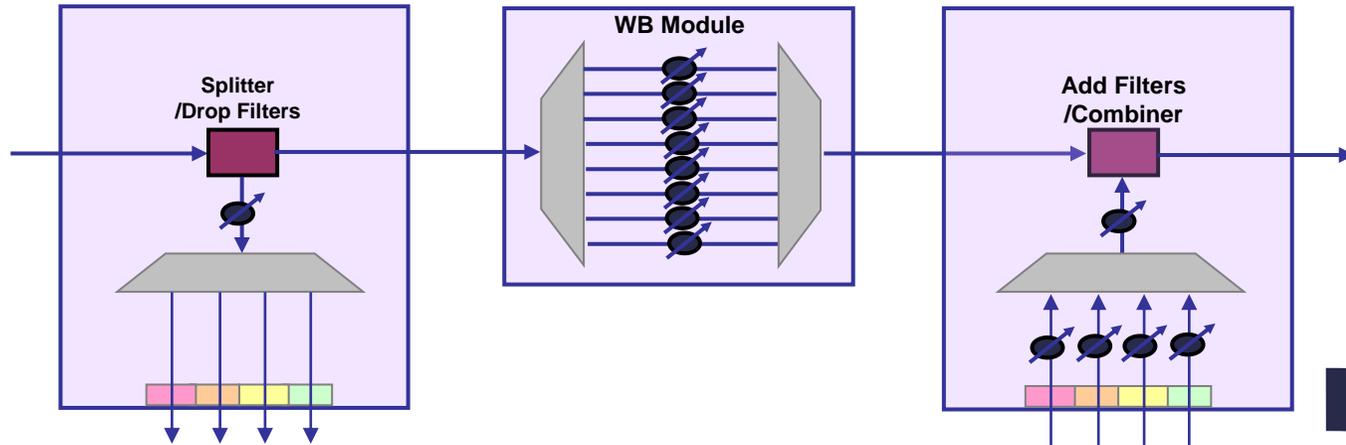
OADM的应用目标是降低DWDM中波长转换器的成本

FOADM组网举例



- 根据节点的上下业务规模实现灵活的FOADM配置;
- FOADM I适用于中小节点($\leq 16 \lambda$), FOADM II适用于大节点($> 16 \lambda$);

2维ROADM

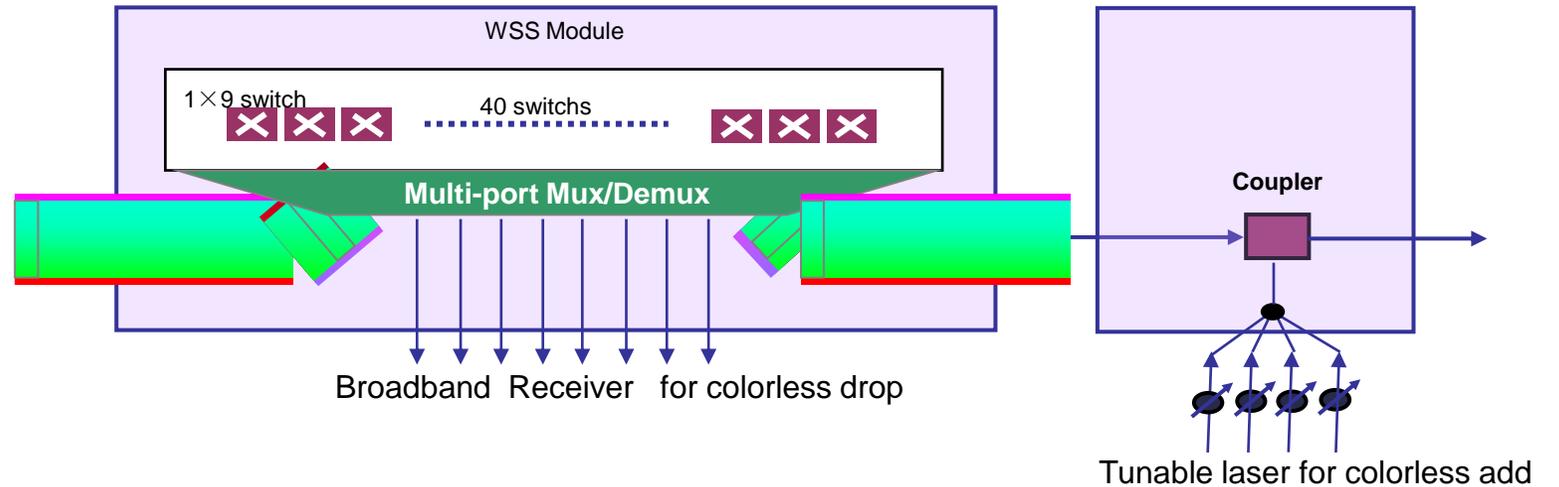


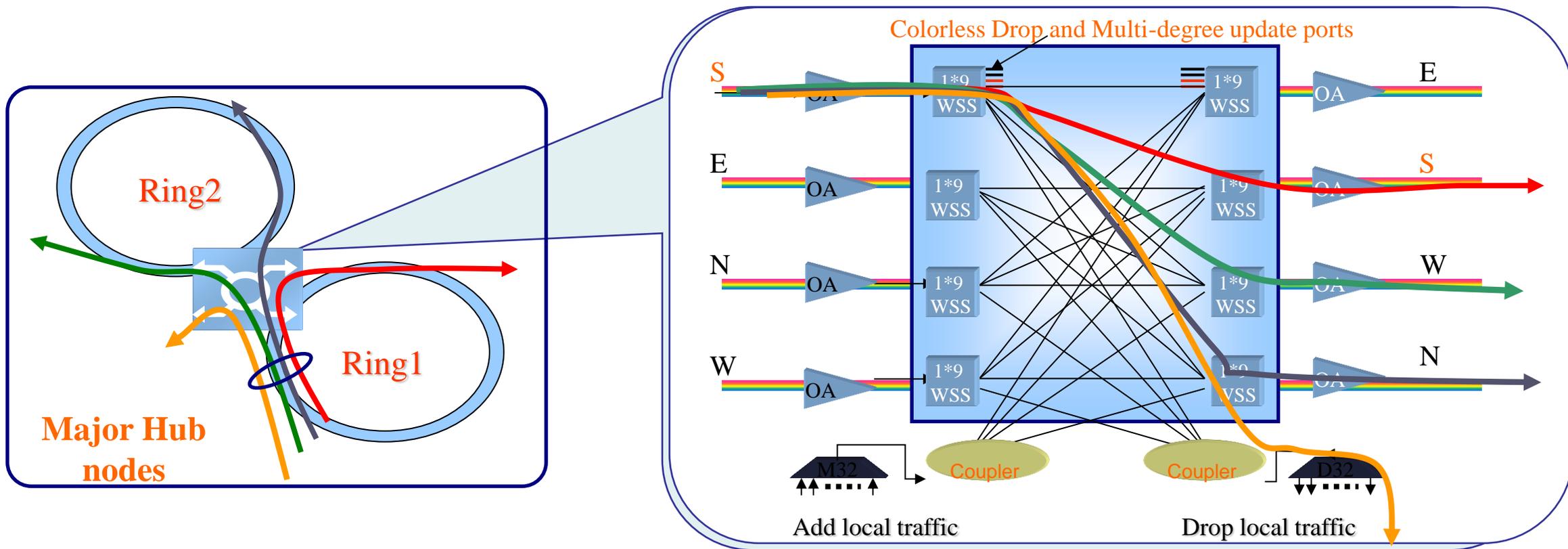
❖ ROADM I (Waveblocker)

- 适用于2维节点
- 支持动态的波长上下和穿通
- 100%波长上下能力
- 内置光均衡功能

❖ ROADM II (Wavelength Selective Switch)

- 更灵活的业务上下能力, Colorless ADD/Drop
- 更方便的升级方式
- 2D-4D-8D无损扩展能力
- 支持MESH组网





- 灵活的光层能力一跨环组网实现自动波长连接，消除光Hub点人工跳纤方式。
- 从2维向多维的在线升级（最大支持8维）
- 通过光层穿通的方式减少中继—消除昂贵的电中继级联的成本

灵活的ROADM组网

汇聚型 OADM节点

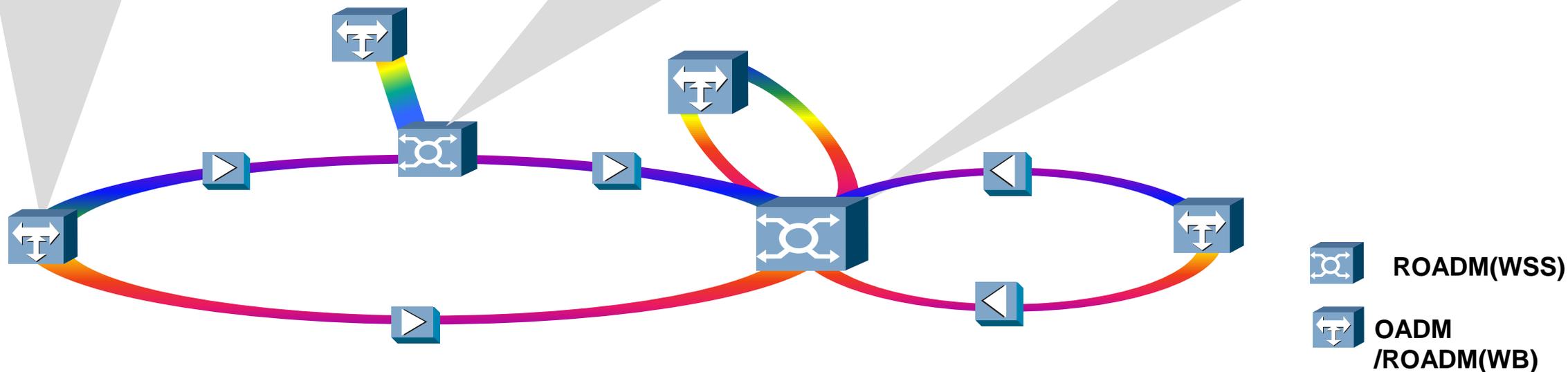
- 2维节点
- 低的波长上下率
- 上下业务在本地终结
- 基本无重构需求

汇合型 OADM节点

- 低的波长上下率
- 与3-5个节点连接
- 具有远程重构和管理需求

主核心节点

- 高的波长上下率
- 可能有重构需求
- 与多个节点连接



本章小结

- ROADM的种类有哪些？



4. MSTP城域网组网



课程目标

- 学习完此课程，您应能：
 - 城域传送网MSTP的概念及发展由来
 - 传统传送网络承载业务特点
 - 城域传送网MSTP的几种解决方案及它们的差异
 - MSTP的定义及其设备技术特点
 - MSTP的网络组网应用



内容介绍

城域网与城域传送网MSTP的发展及需求

传统传送网络与城域传送网络MSTP的对比

MSTP的定义及技术特点

MSTP的组网应用



城域网背景分析

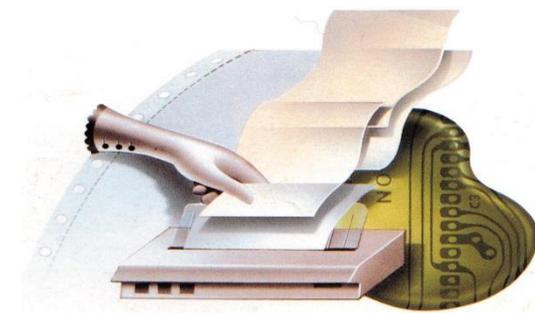
- 城域网指有别于普通窄带话音网络、能在城市范围内提供宽带数据及多媒体业务的综合业务网络。



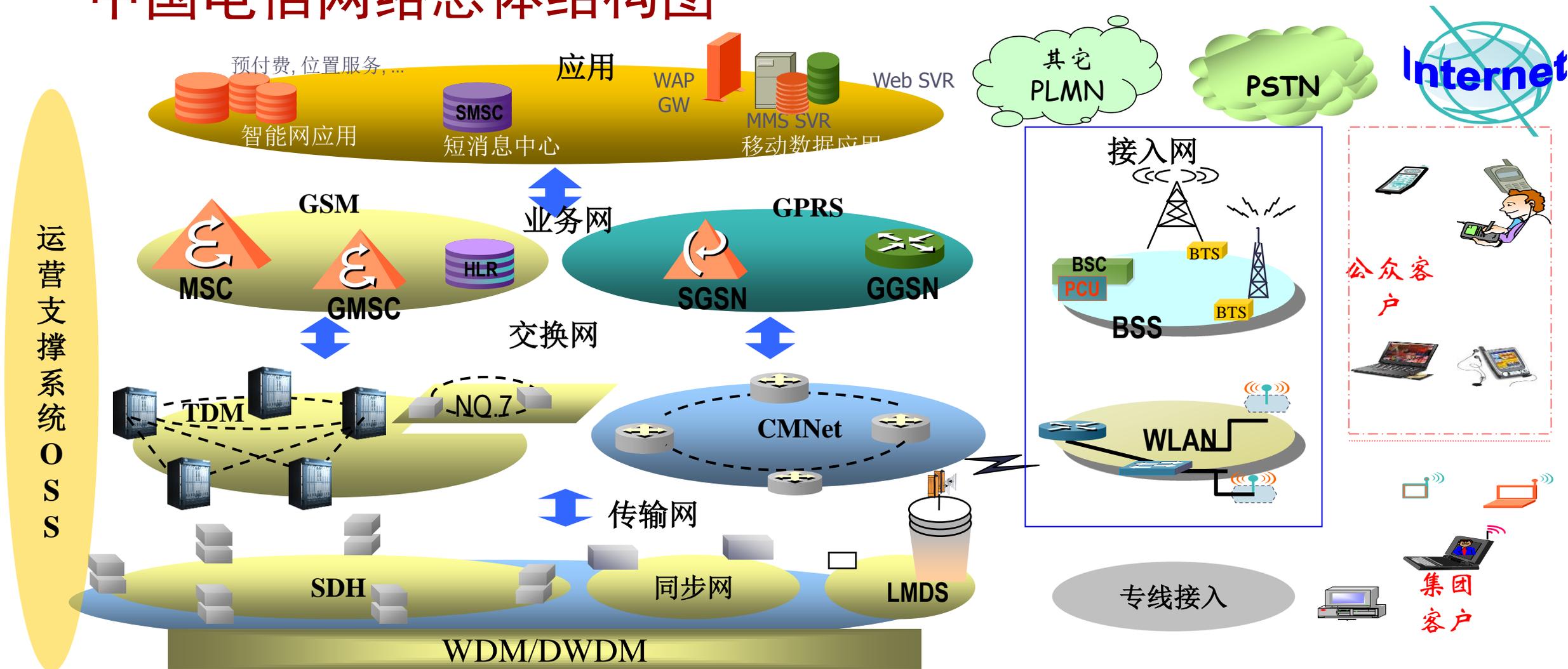
城域网的特征及现状

- 一般情况下，城域网是指数据通信设备所构成的网络，它主要具有如下几个特征：
 - 业务类型多，需要各种业务接口，如：ATM、Ethernet、DSL、TDM；
 - 业务流量和接入点有一定的不确定性，受用户和应用驱动大，灵活性十分重要；
 - 网络配置复杂，电路调动多，变化频繁；
 - 各运行商根据不同出发点建设，网络多样化。
- 目前城域传送网的基本现状主要为：
 - 一部分运营商有较为完善的城域网，多数运营公司只有部分网络；
 - 能够支持的业务比较单一，对TDM、ATM、Ethernet、DSL综合考虑不够；
 - 网络复杂，维护、管理成本高；
 - 网络可扩展性不强。

各种业务的顺利开展离不开传送网络的发展？
传送网络应该如何发展？



中国电信网络总体结构图

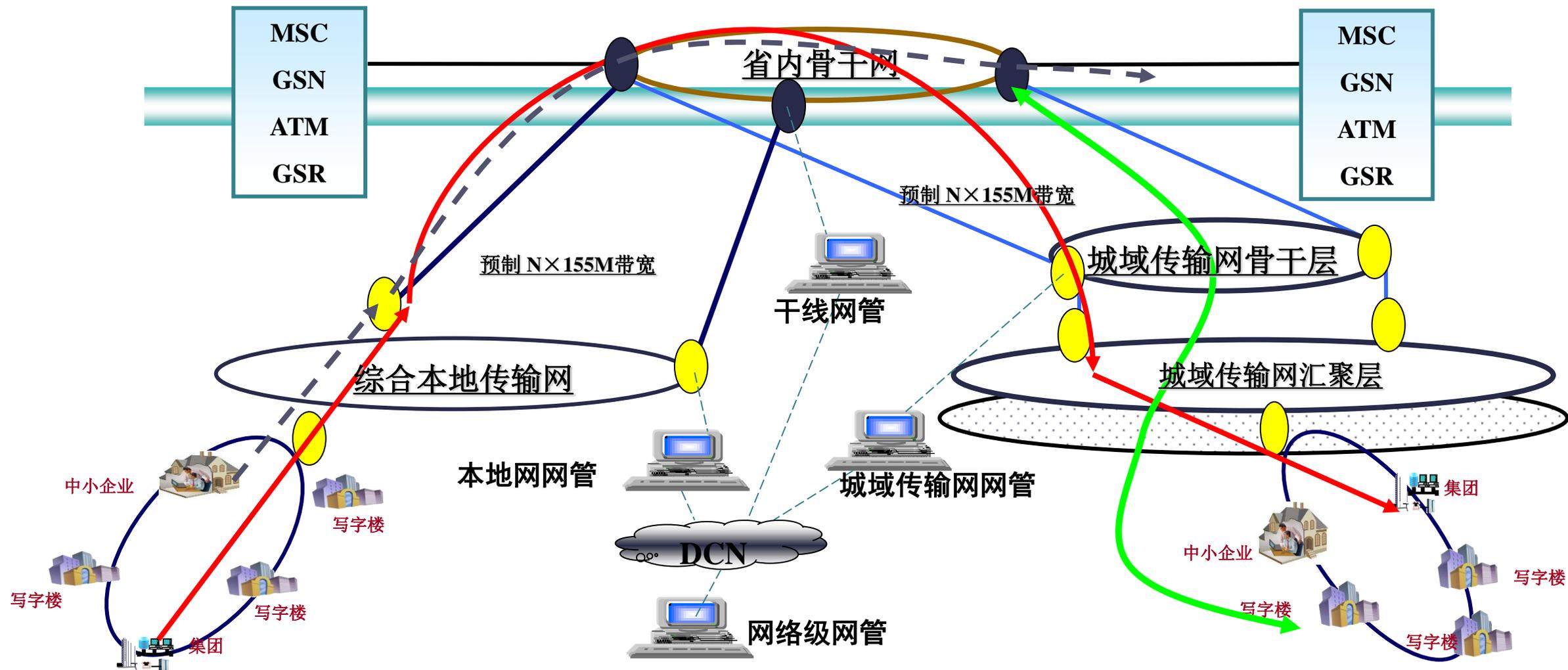


城域传送网MSTP的发展

在数据业务高速发展的今天，光传送网络设备也在随着时代发生着变化，从单一的SDH/PDH业务的接入到现在的Ethernet、ATM、DDN等多种业务接入，即由传统SDH向MSTP演进。

- MSTP是SDH网络的延伸，是现有SDH网络的前向推进；
- MSTP可以针对多种不同网络的业务接入与传送提供不同的解决方案，包括PSTN、数据网、商业网、3G、DSLAM等网络。
- 宽带等数据业务的兴起是MSTP发展的源动力；
- 新一代数据特性单板为宽带等数据业务提供了更强力的支持：更大的带宽（622M/2.5G），更强的网络适应性（MPLS、LCAS、LPT）、更好的标准遵从性（GFP、VC12/VC3/VC4虚级联）、更有效的QoS保证（CAR）。

MSTP综合业务传送网模型



内容介绍

城域网与城域传送网MSTP的发展及需求

传统传送网络与城域传送网络MSTP的对比

MSTP的定义及技术特点

MSTP的组网应用



内容介绍

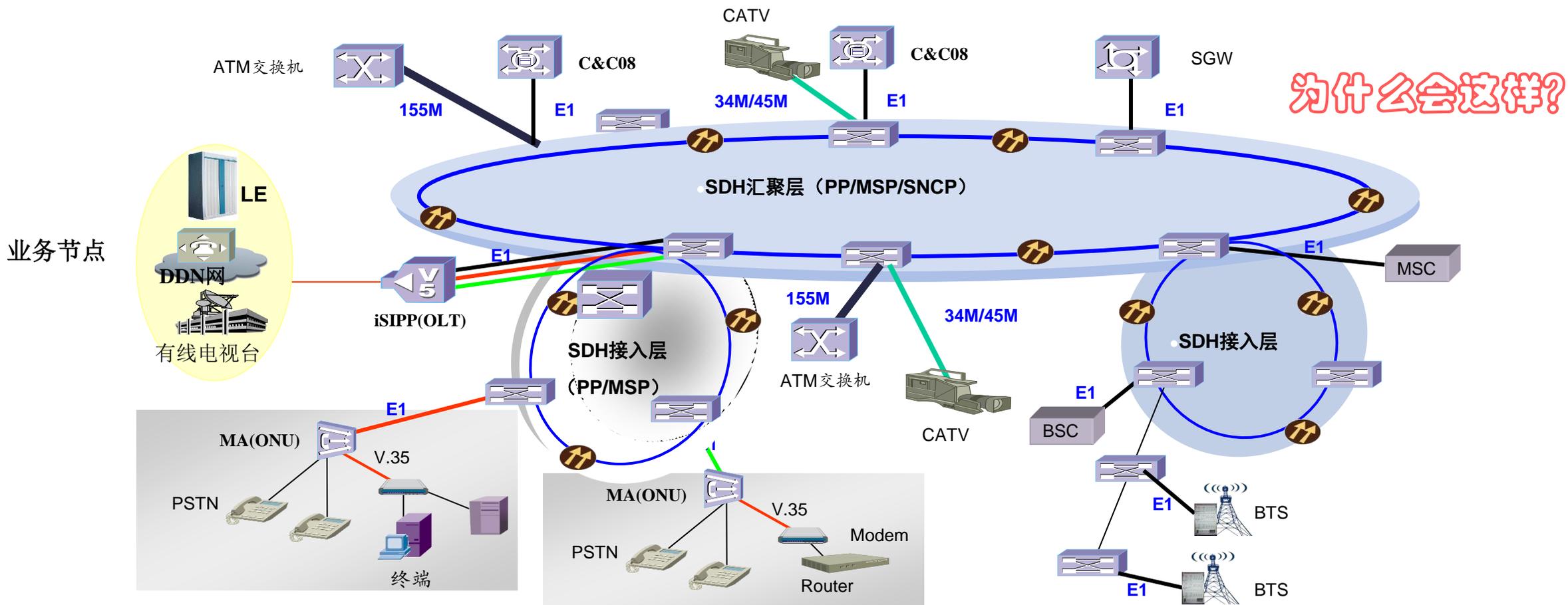
传统传送网络与城域传送网络MSTP的对比

- 传统传送网络的架构和可以提供的服务种类
- 几种城域传送网络的种类及特点
- 现代城域传送网络的模型、定位及优势

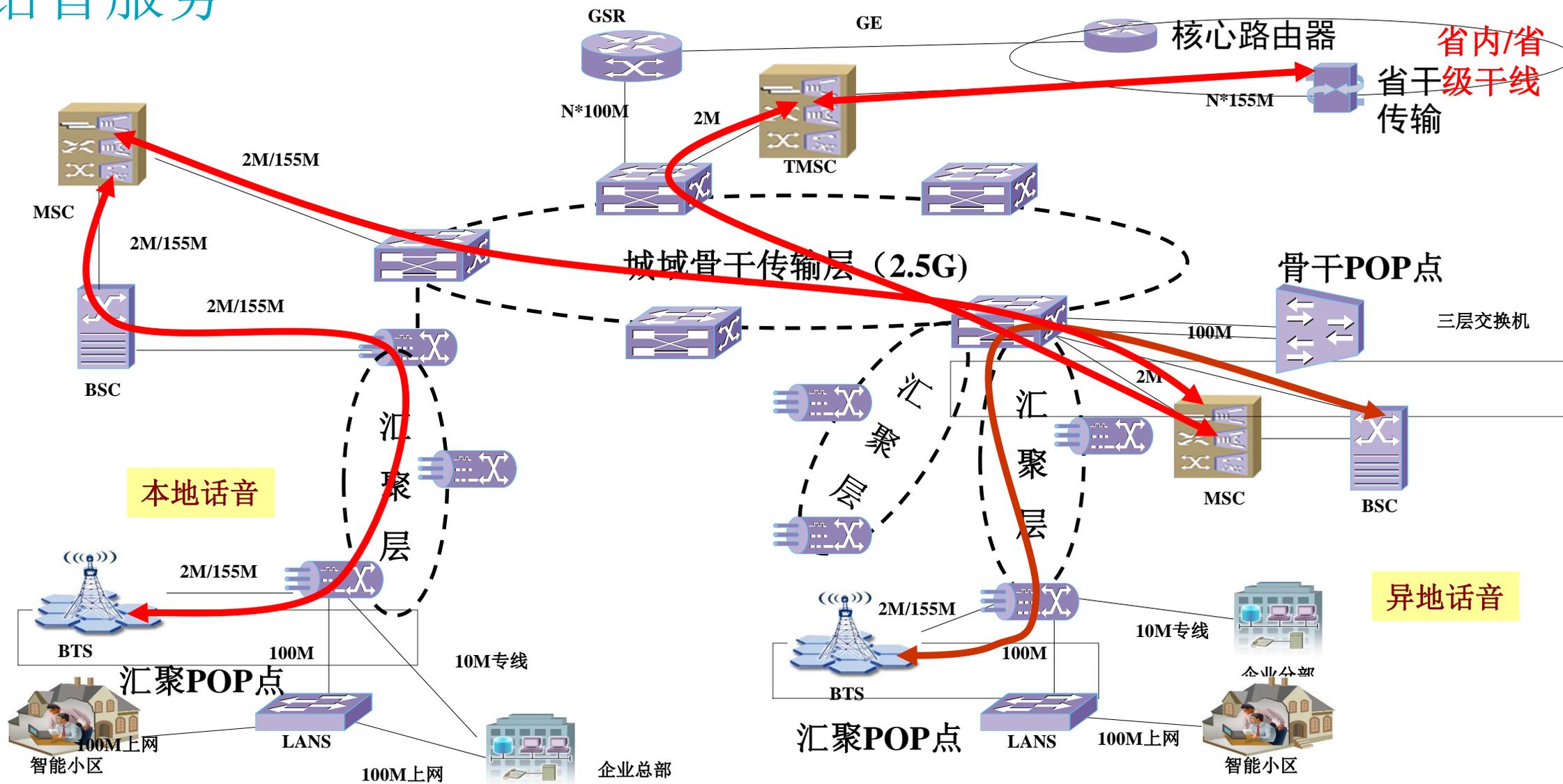


传统传送网络架构

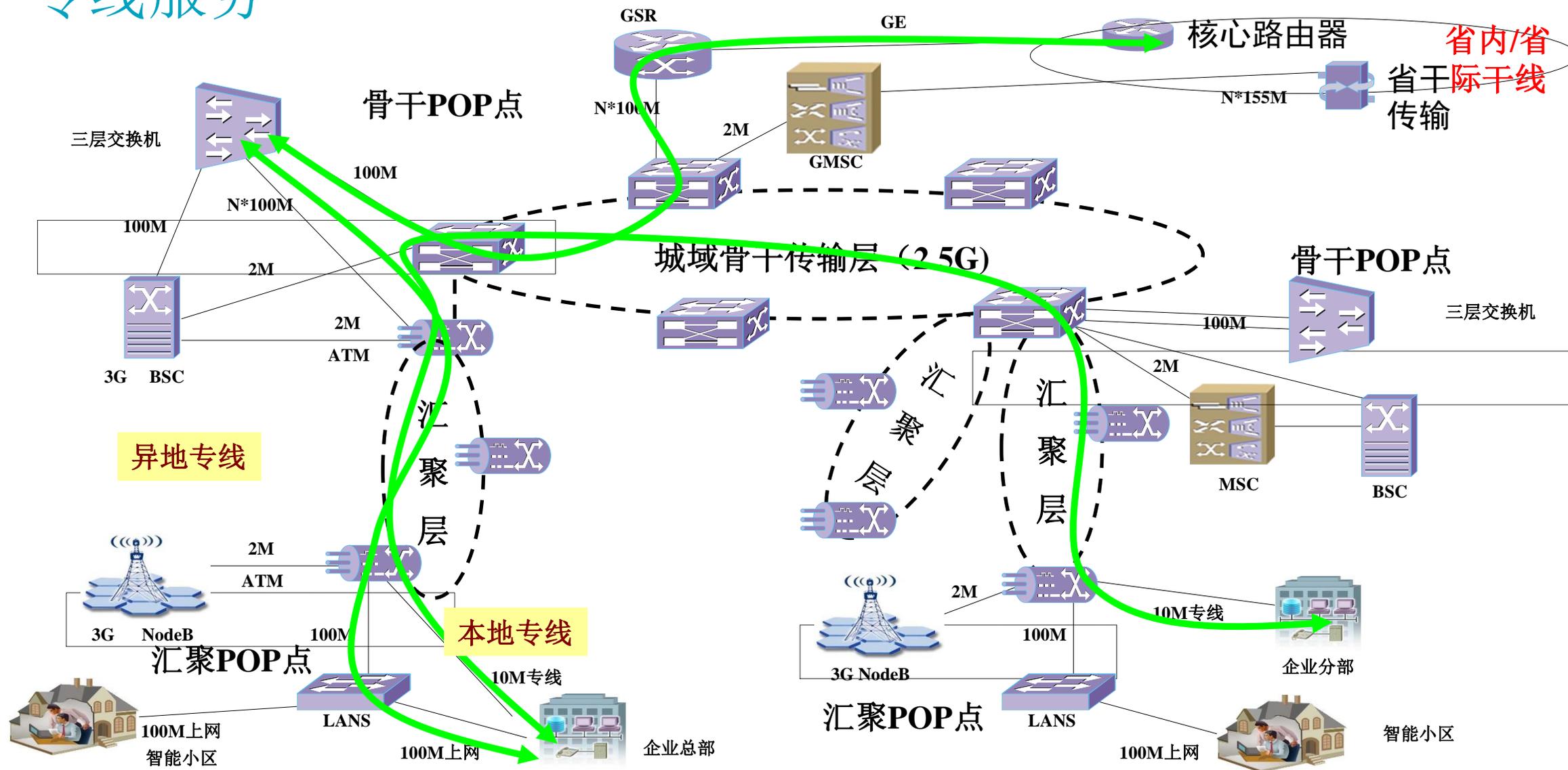
- 传统的SDH网络的对外业务接口一般为E1/E3/E4/STM-1，并对接入业务进行透明传送和调度，提供良好的传输质量监控和业务保护措施。



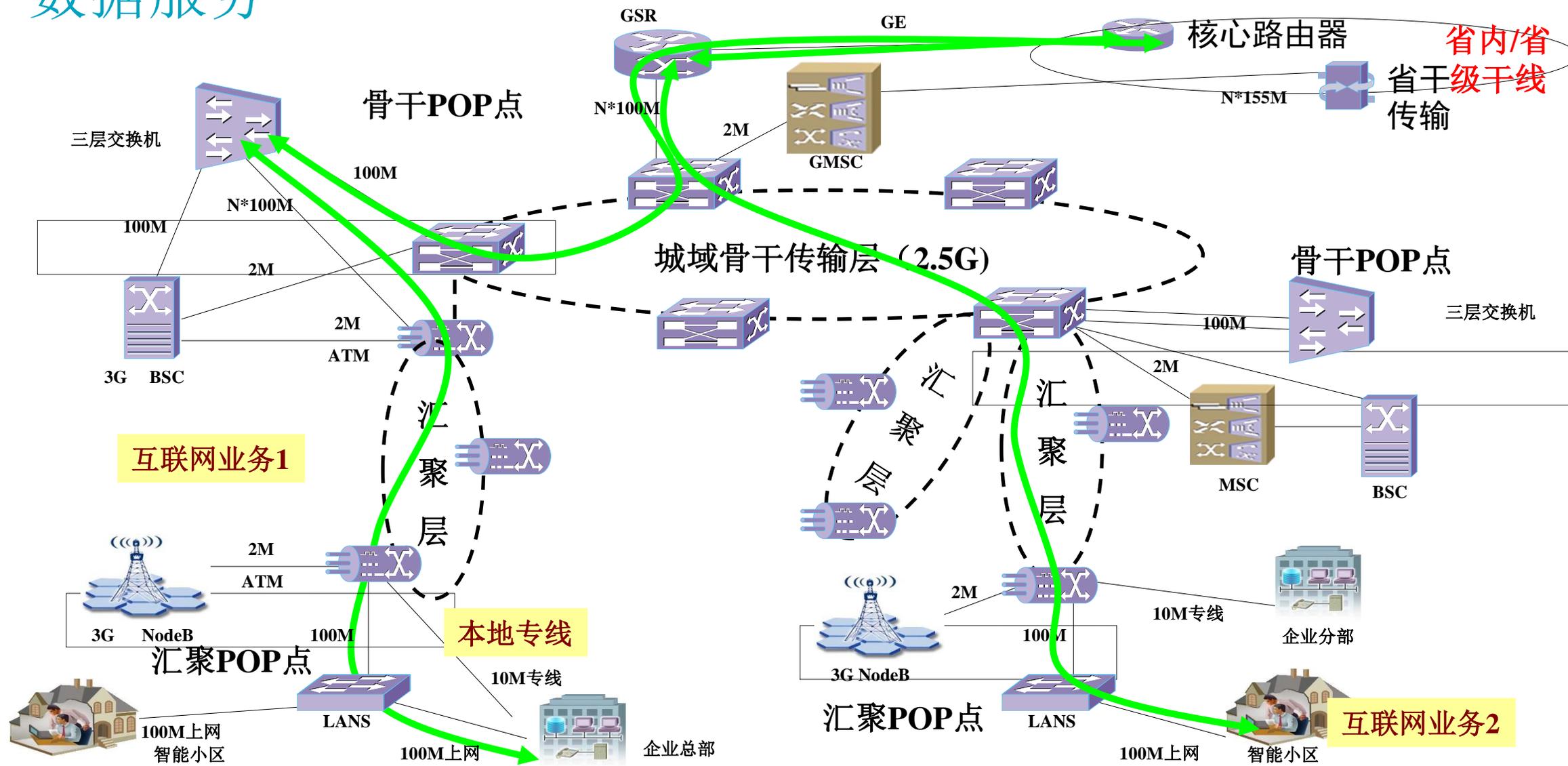
话音服务



专线服务



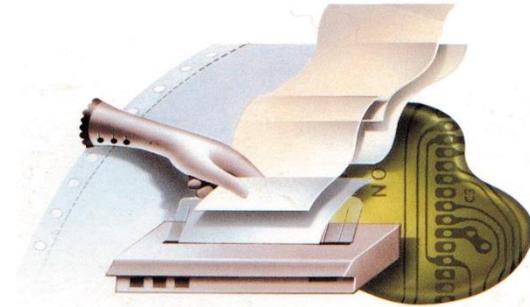
数据服务



应用需求是技术更新的源动力

- 传送的SDH网络为什么它的业务接口就是E1/E3等模式？因为前期用户对电话的接入需求很大，光传送网络要承载的业务主要就是话音等业务，对接设备主要就是接入网、交换机等设备，SDH只要提供这些接口就能很好的满足用户需求。此时同样也有数据传送的需求，但业务量需求小（如企业各地区间重要数据的传送），通过PPP/HDLC等封装协议打包到E1进行传送（如DDN/FR），基本能够满足当时需求。
- 随着城域网的宽带、专线等应用逐渐兴起后，网络承载的数据内容越来越大，为了满足其需要，需要建立宽带城域的传送网，其承载层包括光纤互连、ATM(IPOA)、WDM、SDH/Sonet、RPR等多种解决方案。

数据网络的延伸——传送网络



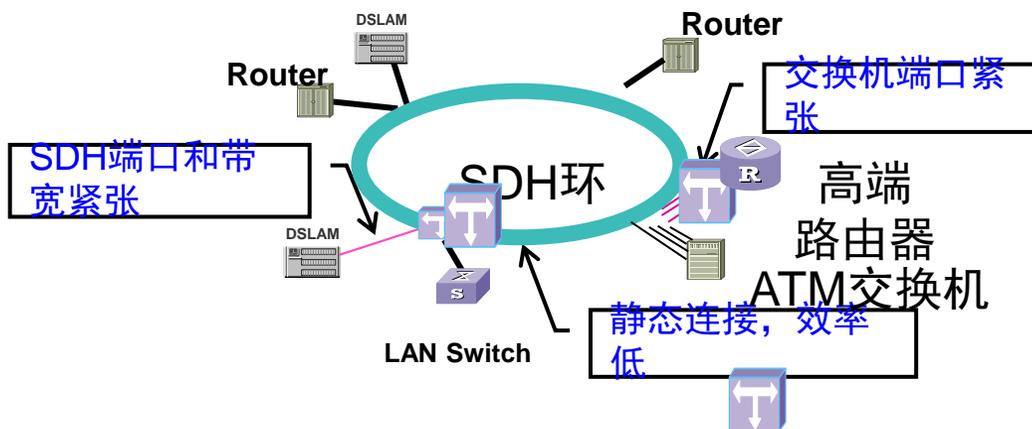
内容介绍

传统传送网络与城域传送网络MSTP的对比

- 传统传送网络的架构和可以提供的服务种类
- 几种城域传送网络的种类及特点
- 现代城域传送网络的模型、定位及优势



几种城域传送组网方案比较



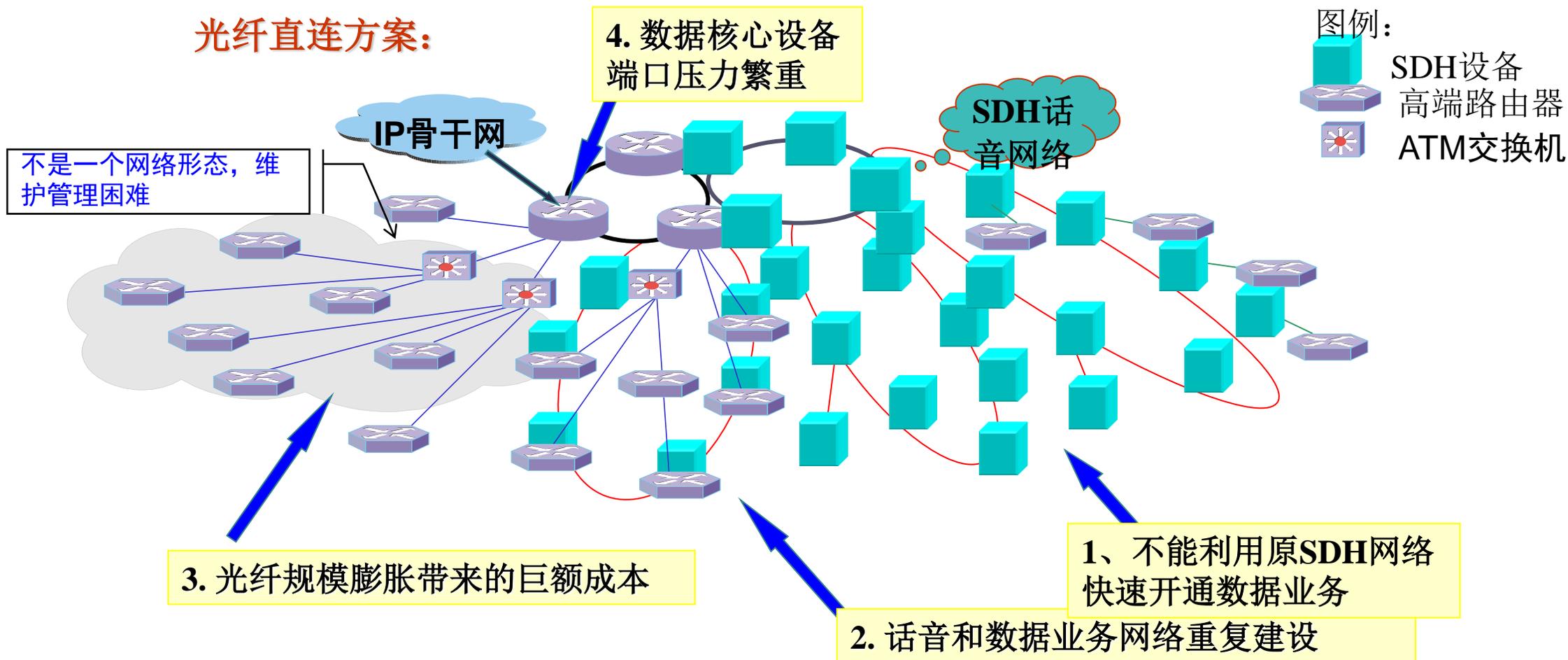
POS接口方案

1. 带宽为 $N \times 155\text{M}$, 不能以 2M 为单位进行带宽调节
2. 只能透传, 不能实现带宽共享
3. 不能汇聚, 数据核心设备端口压力繁重

只适合初期宽带业务较少的应用

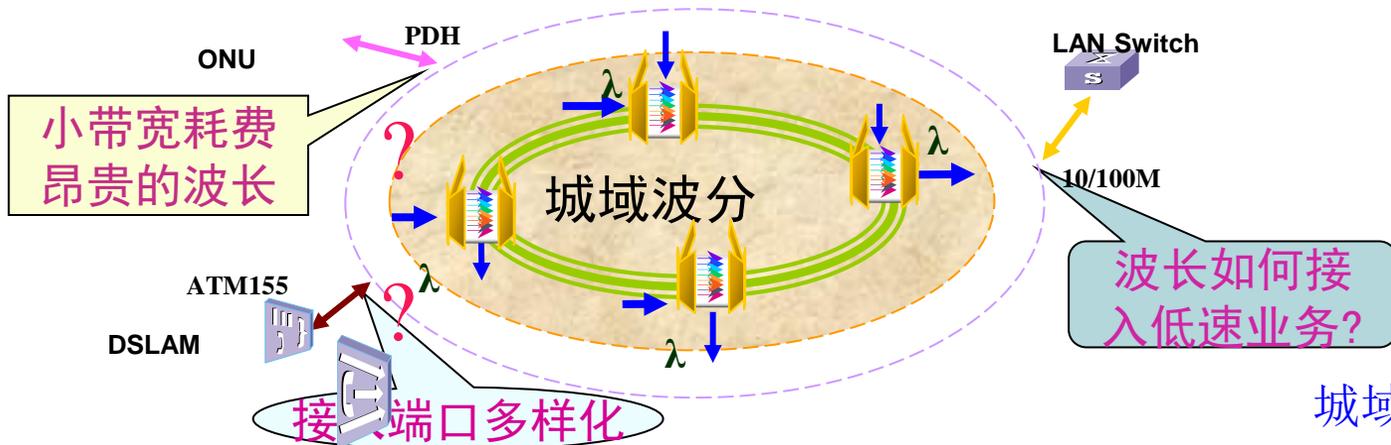
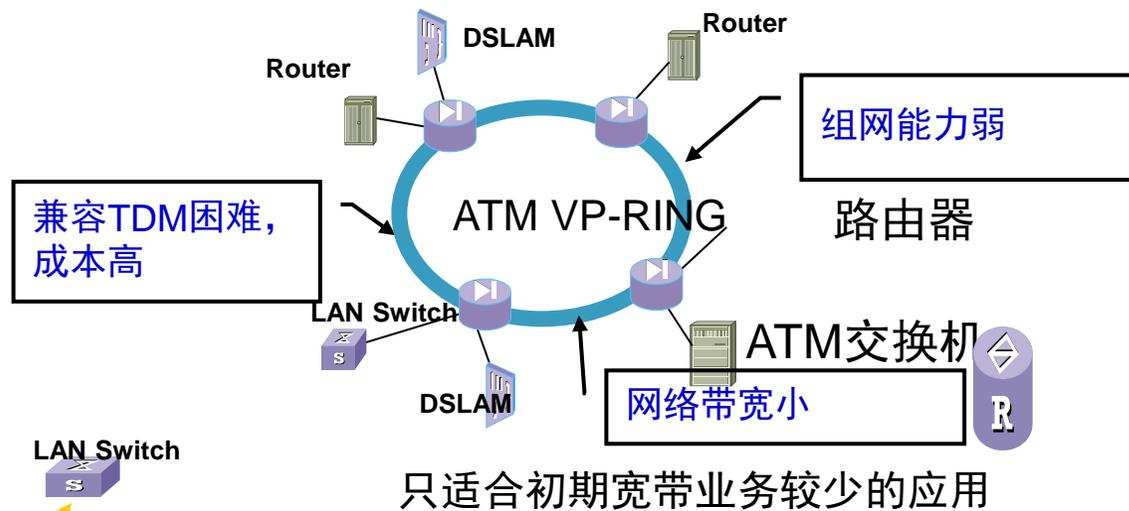


几种城域传送组网方案比较



几种城域传送组网方案比较

ATM交换机组网



城域波分组网

不适合统一规划分期建设, 一次性投资太大



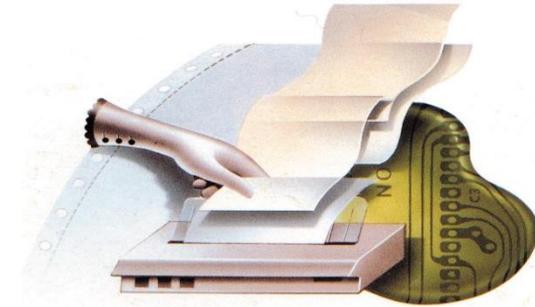
城域网技术分析

- 主流汇聚层/骨干层技术：
 - ATM、SDH、GE、RPR
- 对比分析：
 - ATM：带宽统计复用、高Qos、高转发速率、优良的网络管理
技术复杂、昂贵、对窄带业务支撑差、网络保护能力弱
 - SDH：适合窄带业务、网络保护能力强、OAM功能强大
静态连接、带宽利用率低
 - GE：高转发速率、低成本、带宽利用率高、从接入层到汇聚层到骨干层“无缝”桥接、组网灵活方便
不支持窄带业务、网络保护能力差、网络管理难
 - RPR：解决了以太网的诸多难题
标准尚未统一、技术较复杂



城域网技术分析

- 功能定位：
 - 接入层：完成各类业务的接入和适当的带宽收敛
 - 汇聚层：完成接入层业务的带宽收敛和灵活调度，做为衔接接入层和骨干层的桥梁
 - 骨干层：主要完成大容量业务的传送，衔接WAN和MAN
- 从技术本身的特点和网络发展的进程来看，目前任何一种单纯的技术都不能完全满足MAN建设的需要，因此在一定的时期内，MAN必然是各种技术同时存在的一个综合体----ATM网、SDH网、Ethernet网、RPR网
- 在保证功能实现的基础上，如何降低MAN的网络建设和运维成本？根本办法就是实现各种网络的有效融合，在同一平台上实现多种业务的处理和传送----MSTP
- MSTP是传统传输网络的演进和升华，是当前MAN的最佳选择



内容介绍

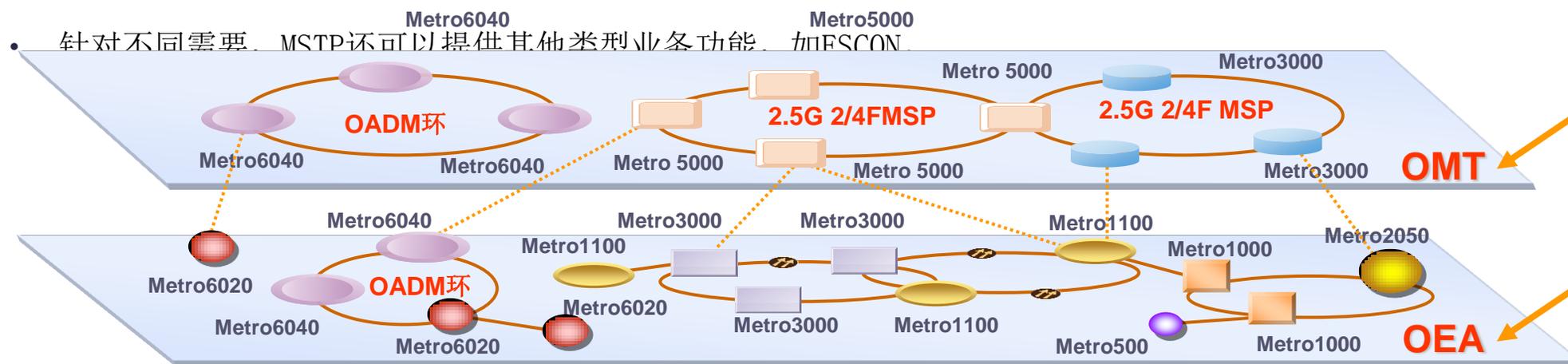
传统传送网络与城域传送网络MSTP的对比

- 传统传送网络的架构和可以提供的服务种类
- 几种城域传送网络的种类及特点
- 现代城域传送网络的模型、定位及优势



MSTP定义

- MSTP (Multi-Service Transport Platform)
- 基于SDH的多业务传送节点是指，基于SDH平台，同时实现TDM业务、ATM业务、以太网业务的接入、处理和传送，提供统一网管的多业务节点。
- 基于波分的多业务传送节点是指，基于城域波分平台，同时实现SDH业务、ATM业务、以太网业务的接入、处理和传送，提供统一网管的多业务节点。



局间互联

- PSTN/VOIP
- G网/C网/3G/PHS
- ATM
- GSR/L3



基站接入

- GSM
- GPRS
- CDMA
- 3G



智能小区

Internet接入

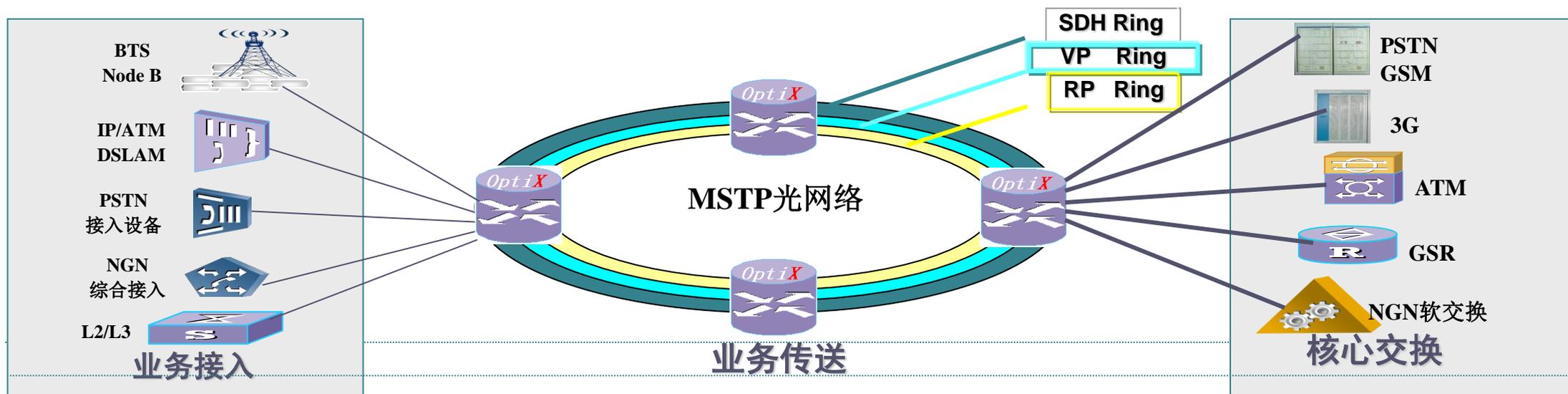
- 小区接入
- SOHO
- 网吧
- 公共场所



专线

- 企业内部互联
- 行业集团互联
- 政府互联

MSTP: 综合业务传送平台

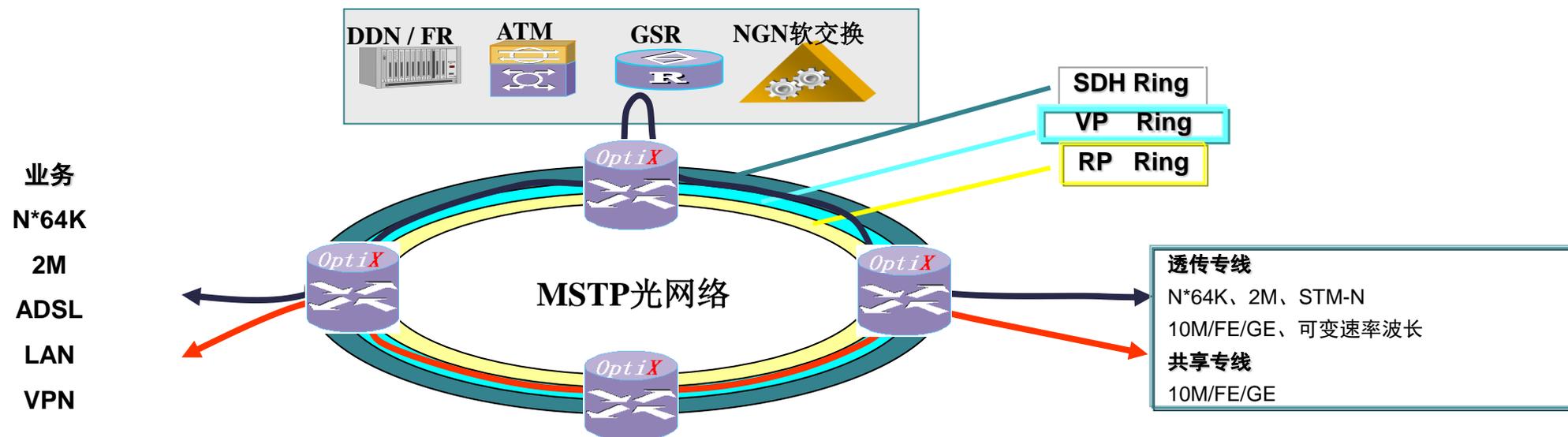


MSTP定位:数据网的必要补充

1. 数据网需要MSTP提供更高等级的以太网业务来满足高级别大客户专线的需要
2. 数据网需要MSTP提供端到端的全业务覆盖，而这种覆盖可以通过MSTP的基础SDH已经具备或者即将具备的全覆盖来实现
3. 数据网需要MSTP提供末梢远距离组网和安全保证

光传送网络比单一业务网具备更强的地域性，光传送网络必须具备更强的IP、ATM、TDM综合传送能力，承载DSLAM、NGN、3G等新型主业务。

MSTP的定位：VIP专线提供者



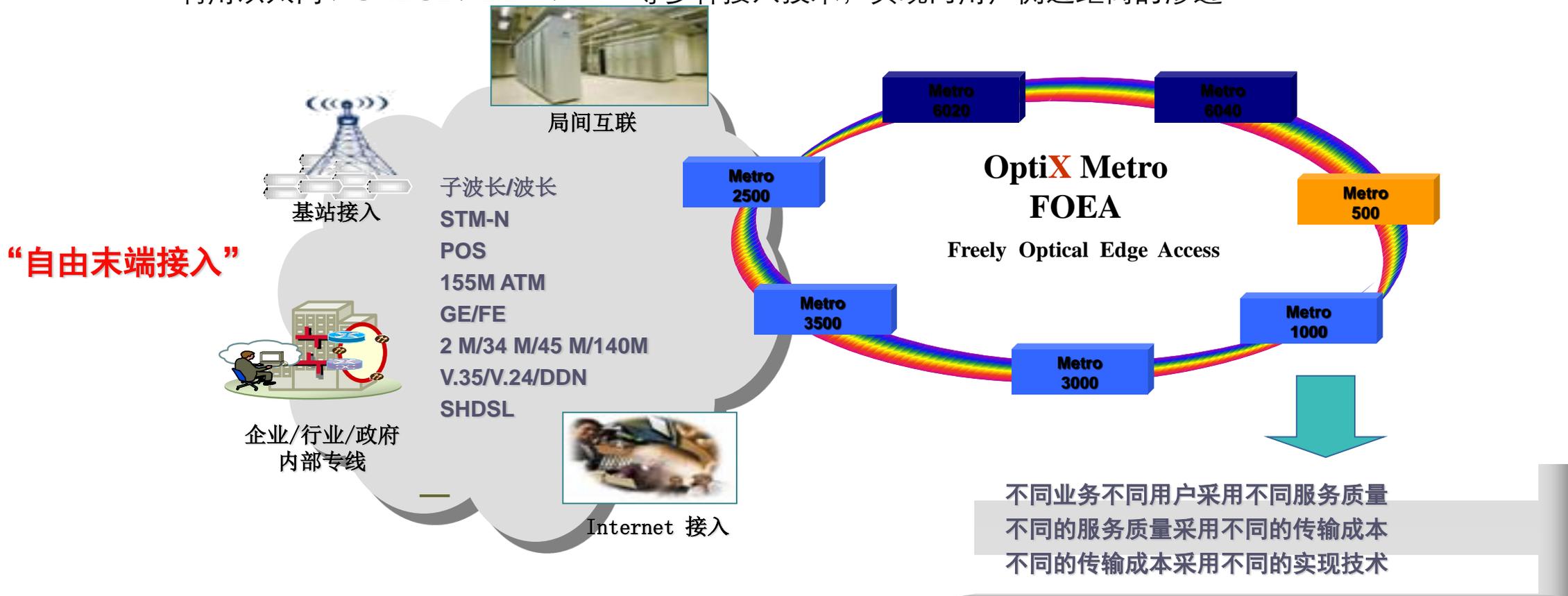
基于广覆盖的SDH网络的MSTP技术（在运营商已经存在密度比较大的SDH网上，增加单板可以直接升级到MSTP）能够提供更快捷和可靠的端到端延伸，显然是一种完善当前数据网络延伸层的一个好方法

MSTP与传统专线业务网比，具备两点优势：

- 1、光传送网络的地域性强，覆盖范围一般比单一业务网广，可作为业务网络的补充，实现广覆盖
- 2、光传送网络可提供N*64K、2M、STM-N、10M/FE/GE、可变速率波长等各种速率的透传专线

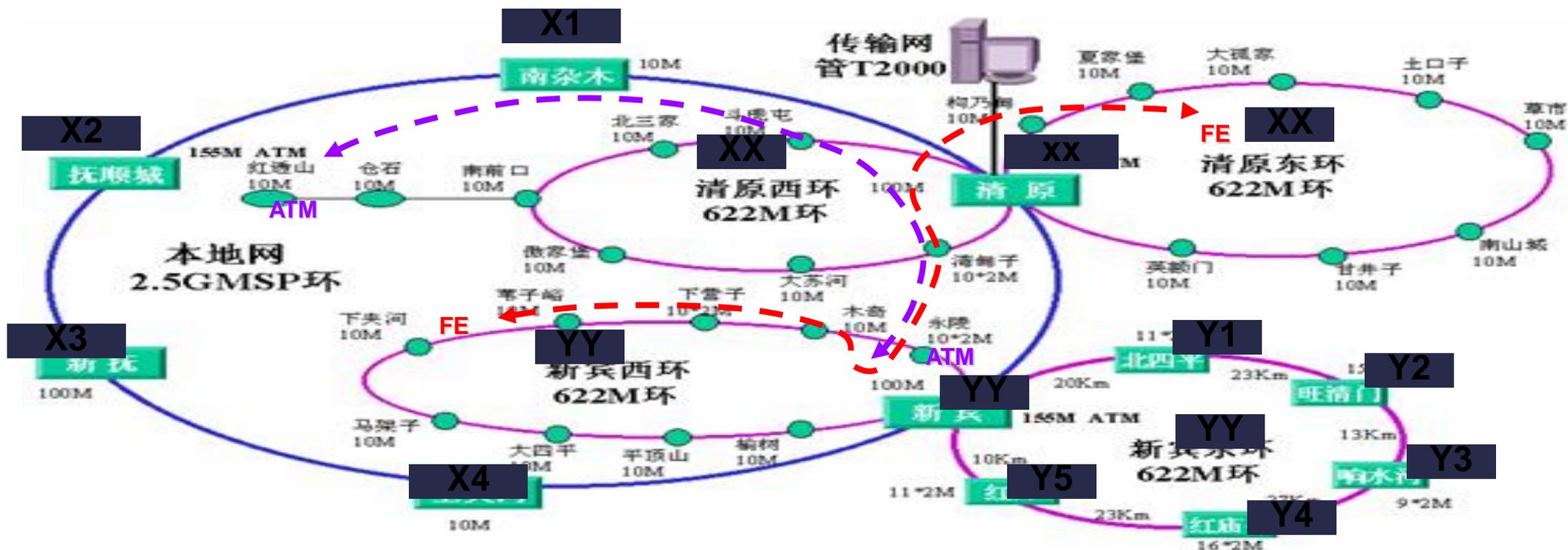
MSTP优势之一——任意距离的数据传送服务

- 利用原有SDH/WDM网络的广域覆盖，快速扩大数据网络规模
- 利用以太网、SHDSL、DDN、ATM等多种接入技术，实现向用户侧近距离的渗透



MSTP优势之二——端到端的业务调度

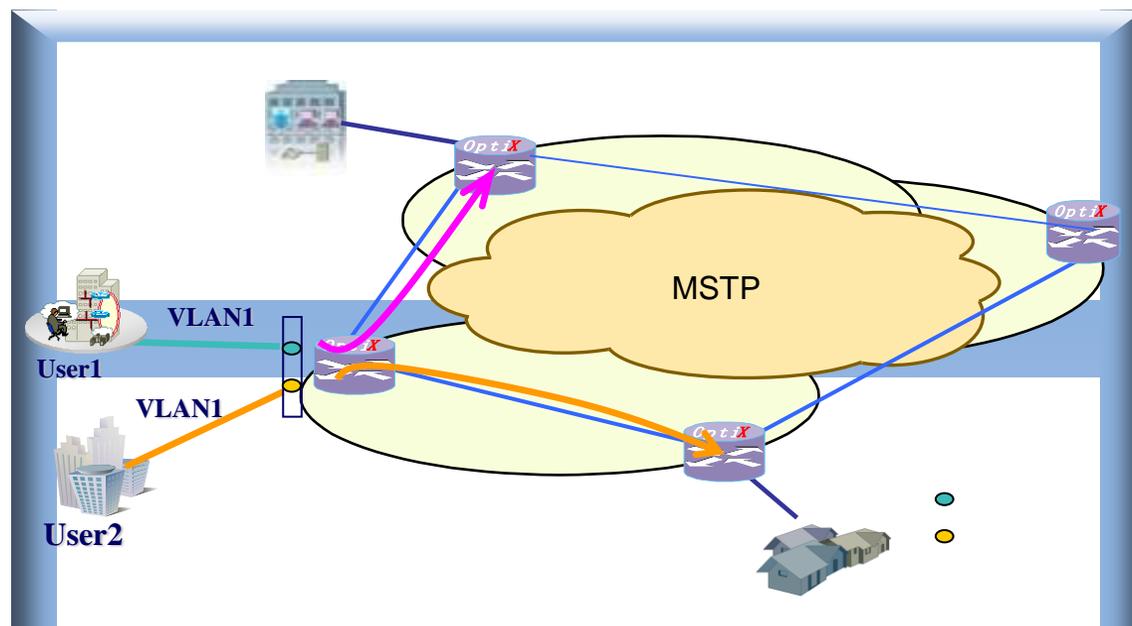
- 在一个网络中实现数据业务的端到端调度，有利于数据业务的快速部署，抢占客户资源，同时减少运营商跨部门的协调工作



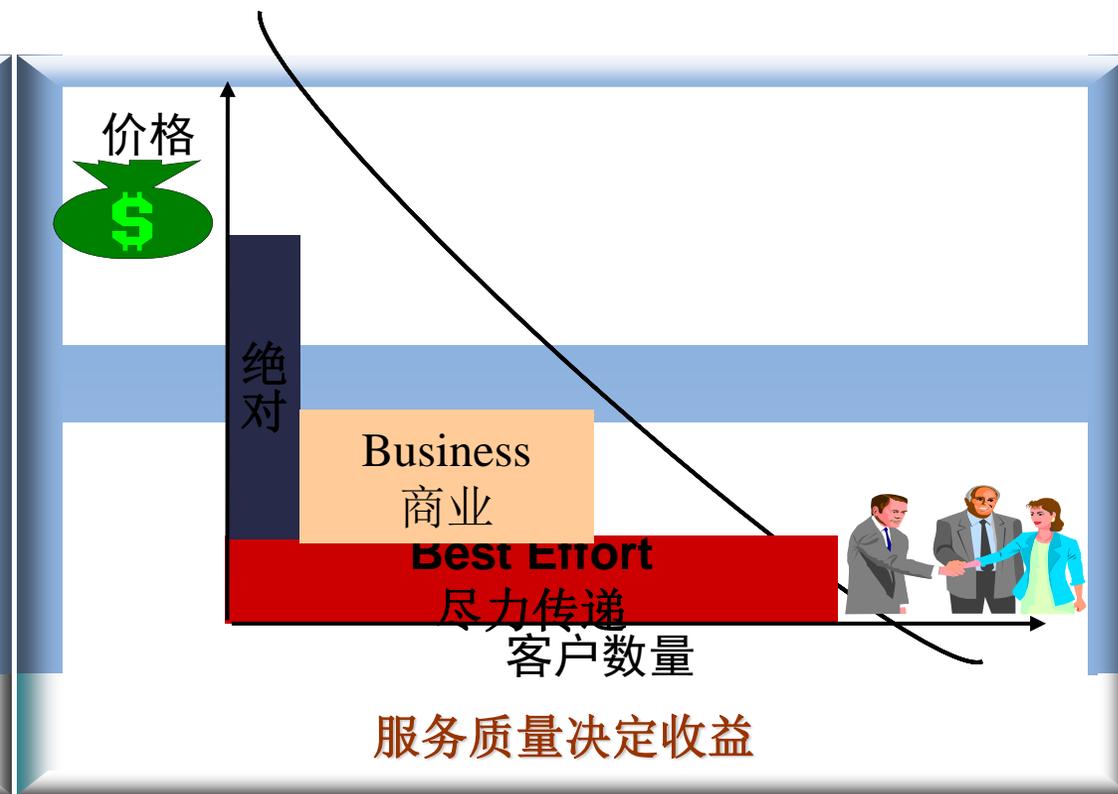
- MSTP产品的网管系统全面支持数据业务的配置管理，实现以太网业务端到端配置管理功能，使得业务配置智能化、支持高效的业务提供！
- 能够与传统网络设备统一网管。

MSTP优势之三——高品质的业务提供：安全、实时

- 安全：基于NP的设计，用户域 + VLAN，实现用户数据的安全；SDH、VP_Ring、STP的环路保护功能，实现业务传送的安全
- 实时：环路平面利用SDH进行实时传送，适宜银行、企业、IP超市等专线业务

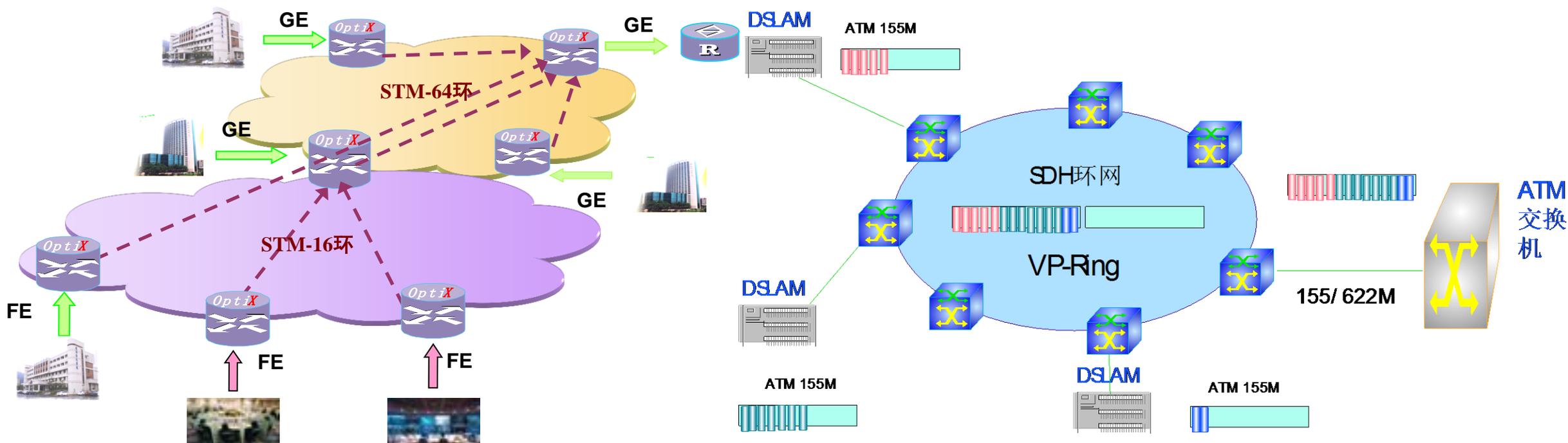


MSTP支持多种用户隔离机制，保证灵活、可靠的用户安全，保障透明局域网优质传送。



MSTP优势之四——低成本的业务提供方案

- 减少用户与运营商在数据网与传送网之间匹配设备的投入
- 利用现有SDH网络，共用光纤资源，保护原有投资
- 节约带宽，节省端口：统计复用带宽，充分共享资源，减少链路容量占用；多点汇聚，节省数通和传输设备的端口数量



MSTP优势之五——可运营、可管理的业务保障能力

- 通过灵活的带宽调整（64K/VC12/VC3/VC4,LCAS），满足数据终端用户的“带宽逐步增长”需求
- 出现故障时，MSTP可以对收发数据报文（或信元）的数量、类型，好包与异常包的分布等信息进行查询分析，定位问题
- 通过定期客户业务的流量统计分析，可以帮助我们进行全网的数据业务规划，分析哪些点有瓶颈、哪些点有富余，优化我们的业务配置

The screenshot shows the iManager T2000 interface with a menu on the left and a statistics table on the right. The menu includes options like '快速创建', '创建向导', '以太网路径创建', '路径搜索', '波长保护关系搜索', '以太网路径搜索', '路径管理', '波长管理', '以太网路径管理', '客户管理', '电路计费管理', '资源统计', '时隙分配图', and '路径一致性校验'. The statistics table is as follows:

序号	统计项	统计值	结束
1	模糊包数	0	2002-1
1	接收到的好包字节总数	367795451	2002-1
1	发送的好包字节总数	0	2002-1
1	接收的坏包字节数	0	2002-1
1	发送的坏包字节数	0	2002-1
2	接收到的单播包数	466999	2002-1
2	接收到的多播包数	0	2002-1
2	接收到的广播包数	0	2002-1
2	发送的单播包数	0	2002-1
2	发送的多播包数	0	2002-1

TopScope VPN Manager

客户网络管理

各种城域网传送方案的综合对比

对比参数 \ 方案	传统 SDH/Sonet	光纤直接互 连	ATM	WDM	MSTP
业务 QoS	高	一般	高	高	高
业务的网络维护管理	一般	差	一般	一般	好
组网及保护能力	高	较低	一般	一般	高
容量	较高	较高	较低	高	较高
综合成本	一般	低	高	DWDM高 /CWDM较低	低
应用场合	接入、汇聚、 骨干层	中小型城域 网	汇聚层、 骨干层	后期发展 OADM/OXC	接入、汇 聚层

内容介绍

城域网与城域传送网MSTP的发展及需求

传统传送网络与城域传送网络MSTP的对比

MSTP的定义及技术特点

MSTP的组网应用



内容介绍

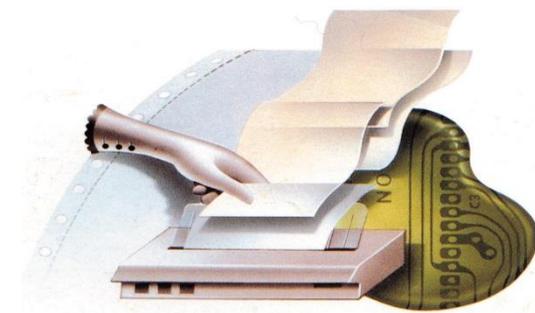
MSTP的定义及技术特点

- MSTP的定义及设备形态
- 以太网功能和封装技术
- ATM接入和统计复用
- DDN和xDSL接入和处理



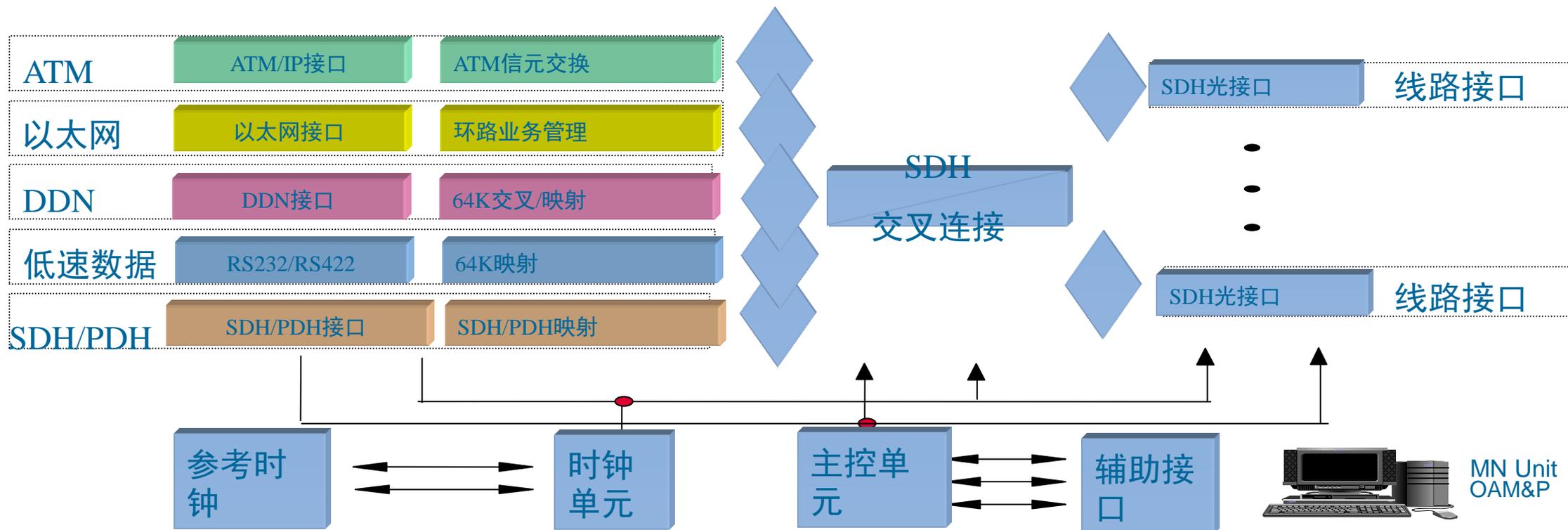
MSTP的定义

- 基于SDH的多业务传送节点（MSTP）是指，基于SDH平台，同时实现TDM业务、ATM业务、以太网业务等的接入、处理和传送，提供统一网管的多业务节点。基于SDH的多业务传送节点除应具有标准SDH传送节点所具有的功能外，还具有以下主要功能特征：
 - 具有TDM业务、ATM业务和以太网业务的接入功能；
 - 具有TDM业务、ATM业务和以太网业务的传送功能；
 - 具有TDM业务、ATM业务和以太网业务的点到点传送功能，保证业务的透明传送；
 - 具有ATM业务和以太网业务的带宽统计复用功能；
 - 具有ATM业务和以太网业务映射到SDH虚容器的指配功能。



MSTP的设备形态

- 一般情况下，城域网是指数据通信设备所构成的网络，对于城域传送网来说，MSTP设备：



- 在原有SDH设备基础上增加相应业务的处理板和软件实现MSTP
- 相对于国标增加了DDN和低速数据业务拓展
- 对以太网和ATM的功能进行了增强

内容介绍

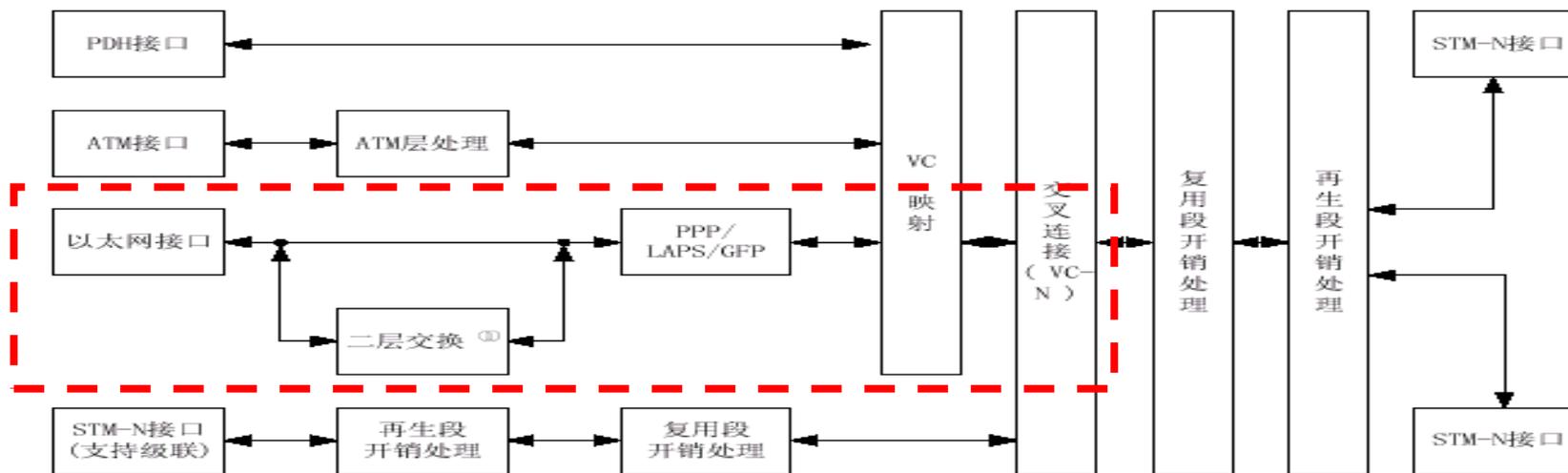
MSTP的定义及技术特点

- MSTP的定义及设备形态
- 以太网功能和封装技术
- ATM接入和统计复用
- DDN和xDSL接入和处理

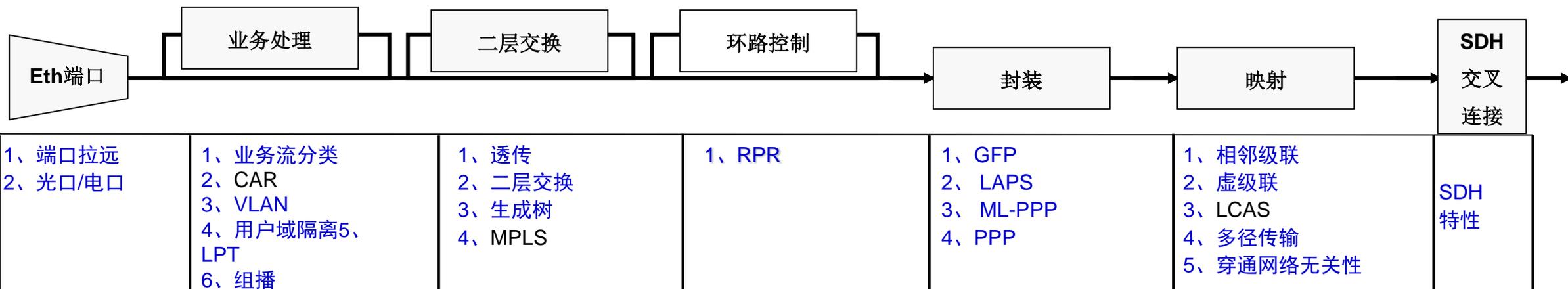


MSTP功能的全面深化

标准要求:

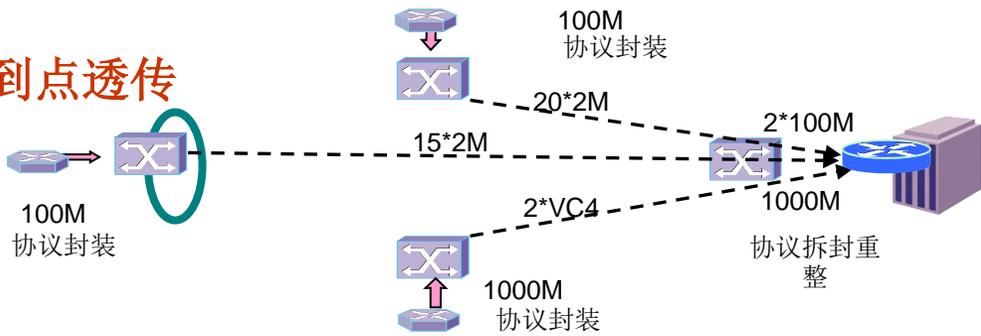


对以太网功能的全面深化

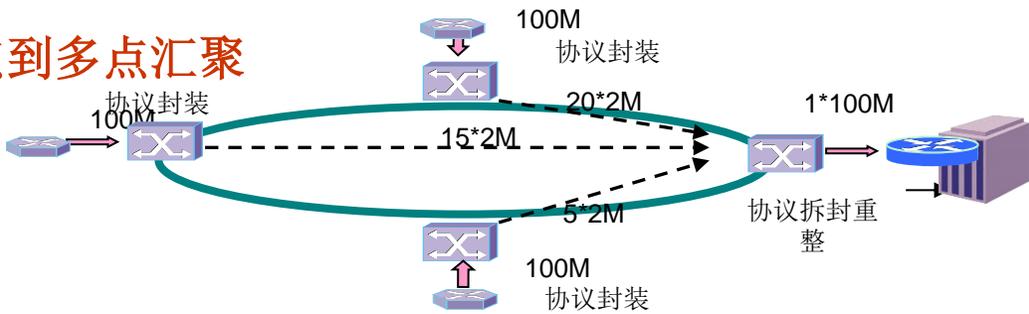


IP/Ethernet over SDH

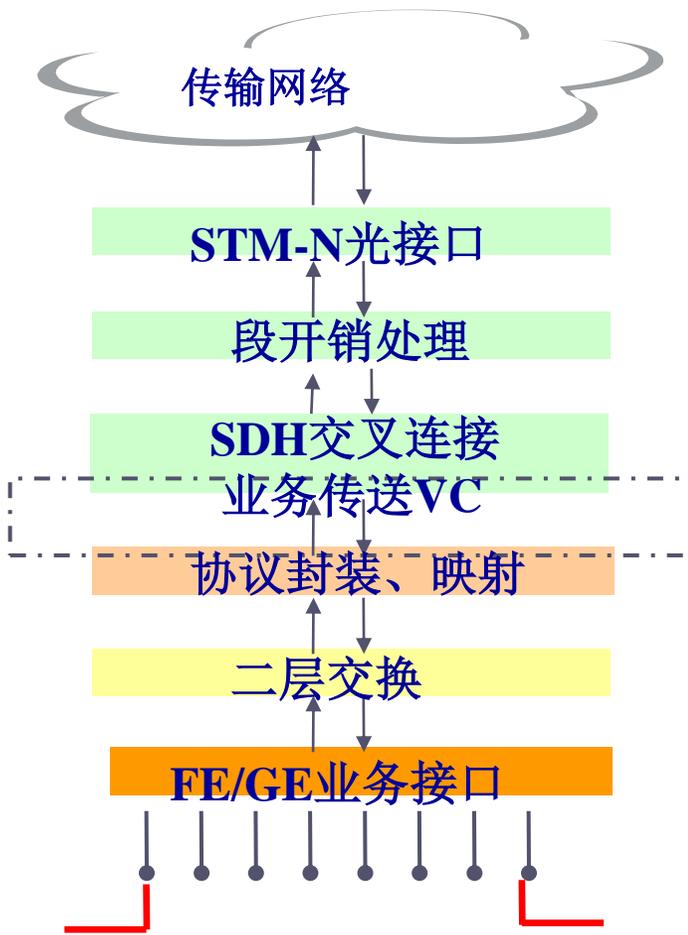
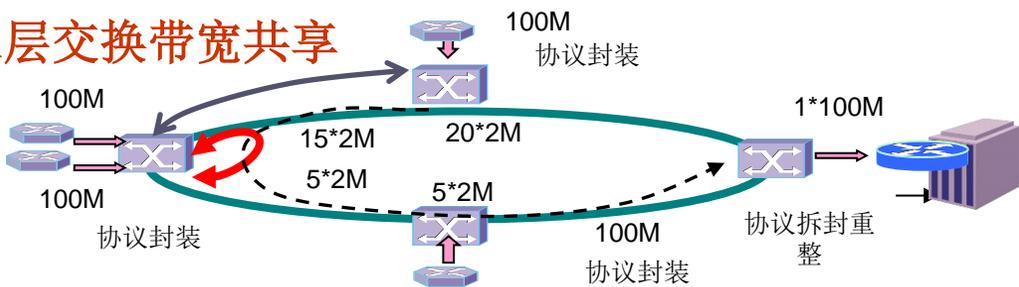
点到点透传



点到多点汇聚



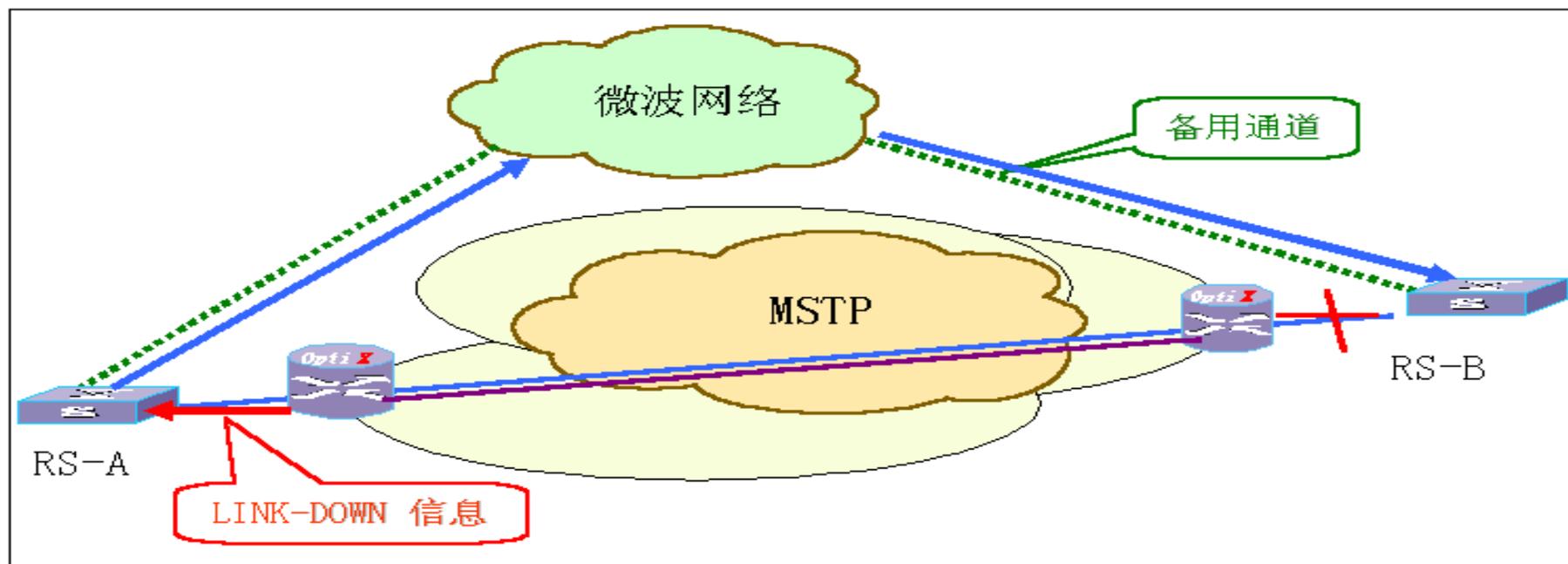
二层交换带宽共享



- 支持点到点透传，点到多点汇聚
- 支持二层交换，实现环网带宽共享
- RP_Ring环网保护

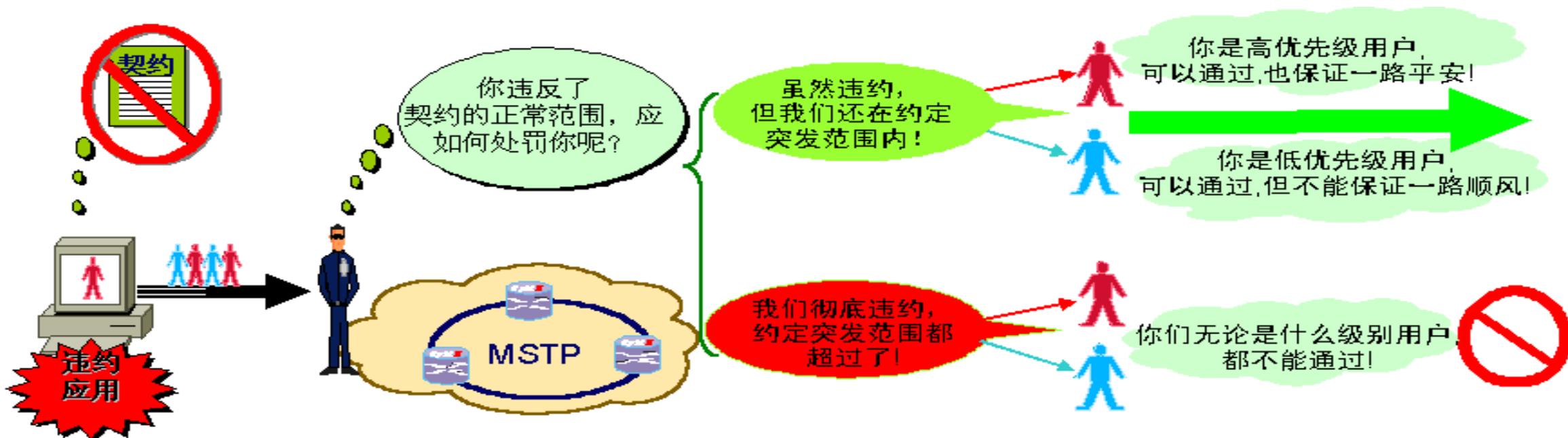
LPT（链路状态贯通）

- 技术原理：通过将链路状态贯通，可以将整个端到端通道的连通性反映在网口的LINK状态上（UP/DOWN），使得两端的设备快速切换到备用路由。
- 功能：新型以太单板可以通过对网络进行定时监测，获得当前以太网网络状况，对由于对端设备、本单板、网线、人为等原因引起的以太网端口连接状态的变化（由Up变为Down或由Down变为Up），借助LPT功能，完成两端设备路由的快速切换。这样，用户从用户侧设备看与网线直连是一样的，数据设备可以通过网口连接的SDH设备迅速感知通道的连通性，并做出相应的反映



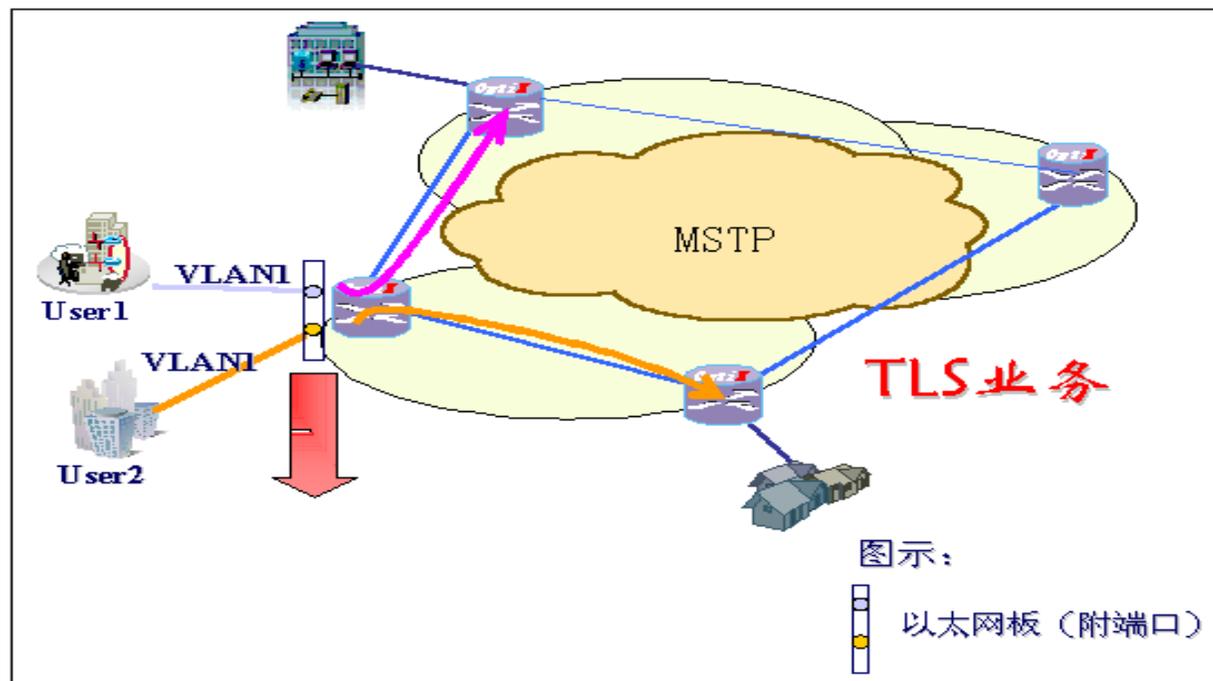
CAR的实现—优先级设置

- 允许运营商将网络分配多个优先级别，或者是不同的服务类型，带宽调整的粒度是64Kbps，支持CIR、PIR、MBS参数的配置，能够控制用户专线接入带宽，使运营商可以基于带宽速率进行计费



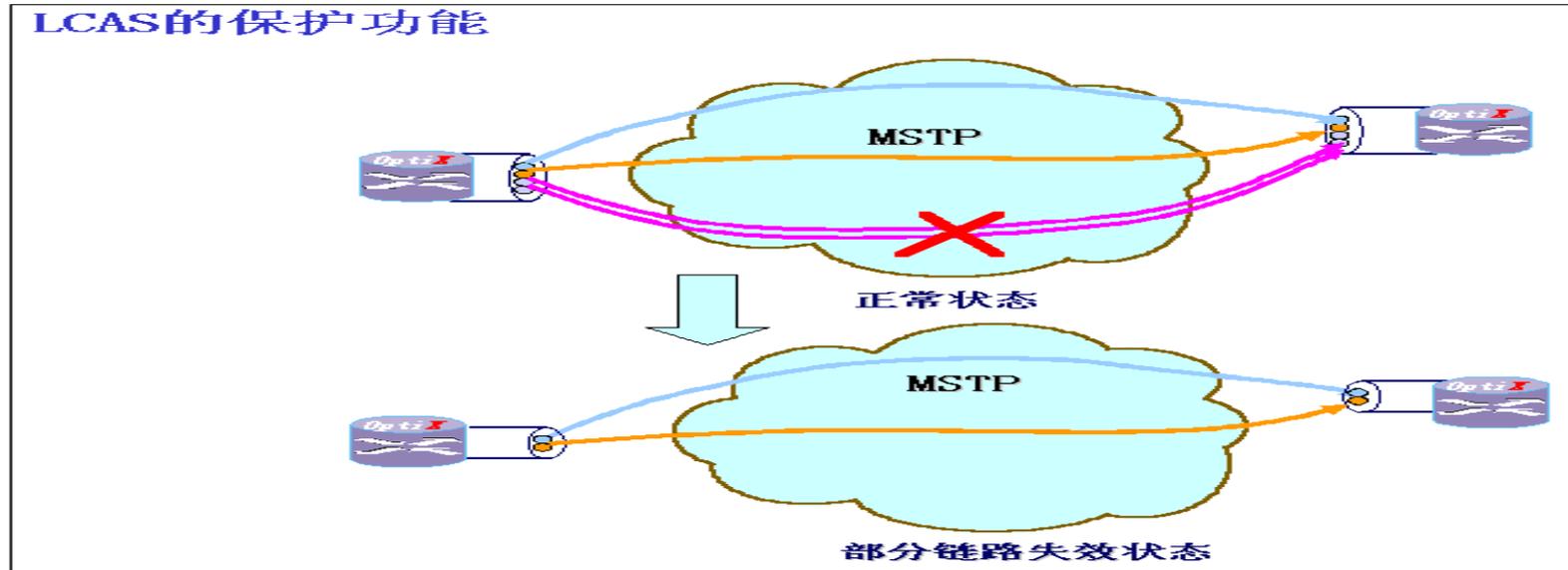
VPN-----独特的用户域隔离

- 技术原理：通过虚拟网桥VB来实现用户域的划分，每个用户有独立的VB。
- 功能：通过VB实现用户域的划分，使各个用户可独立地进行vlan的划分，不同用户的相同vlan不能互通，从而保障TLS透明局域网优质传送。



LCAS（链路容量调整方案）

- 技术原理：LCAS协议使用H4/K4字节，携带控制信息，在源端和宿端之间进行握手操作。通过源端和宿端的握手协议完成带宽的增加、删除操作，以及失效成员的屏蔽、恢复等操作。
- 功能：按需调整带宽，在链路没有问题的情况下，可以动态地增加和减少VC-trunk内的成员而不影响业务。保护功能：当一部分成员失效时，其它成员仍正常传输数据；当失效成员被修复时，仍能自动恢复虚级联组的带宽，速度快。——按需动态分配以太业务带宽将是未来ION的主要应用之一



业务封装与映射

封装与映射

- 封装与映射协议：如果不同的厂家采用统一的标准的映射方式和封装协议，则不再要求以GE/FE接口与数据网络相连的两端SDH设备（也就是进行以太网映射封装和解映射封装的设备）为同一厂商

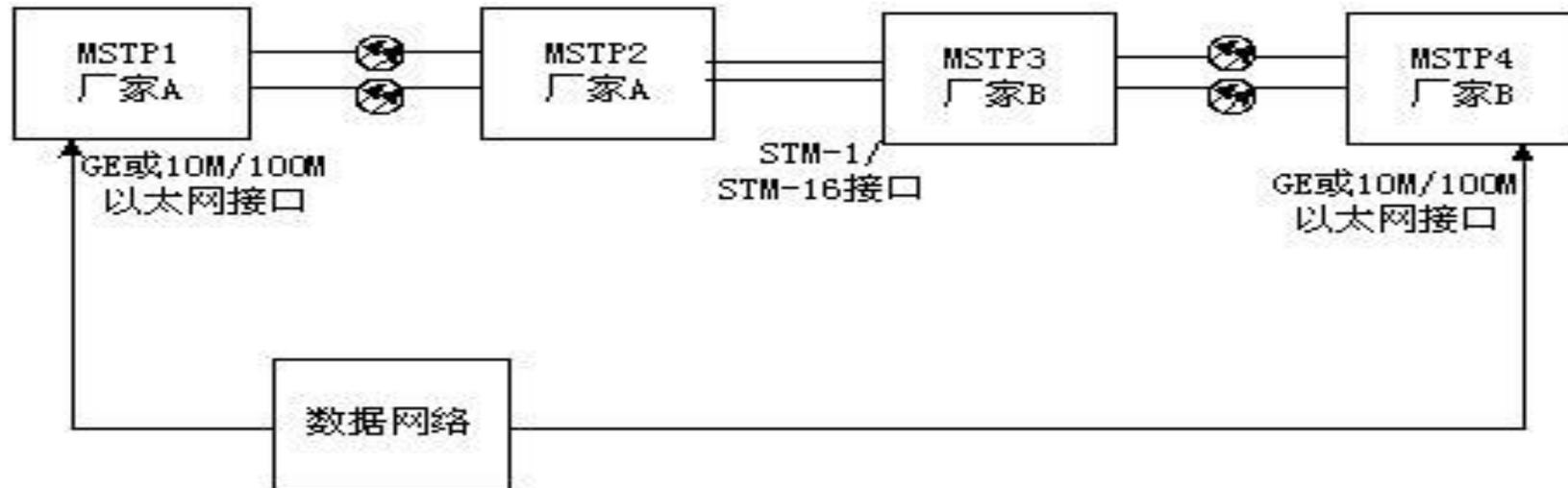
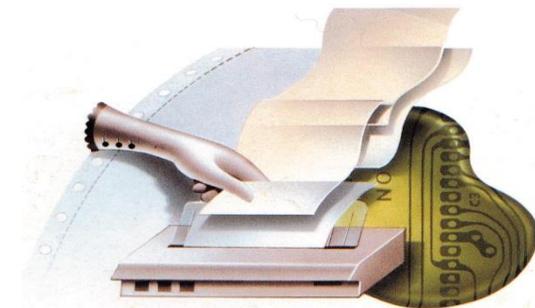
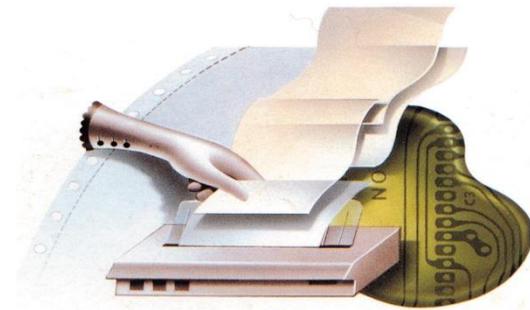


图 1 不同厂家以太网映射和封装协议互通验证



封装与映射技术

- 封装技术：支持GFP/LAPS/PPP三种封装协议，用户可以通过网管操作，任意选择和查询业务采用的封装协议。 GFP标准化程度高，是以太网封装协议发展方向
- 映射技术：级联技术—现有的传输网中最大的虚容器是VC-4，能够传输的业务带宽仅有149Mbps。随着ATM AND IP网络的发展，带宽的需求已超过了VC-4的限制。现在发展起来的几种技术可以使多个VC-4的带宽合并起来提供一个高带宽的界面用于传输宽带业务，级联分两种：
 - 相邻级联
 - 虚级联



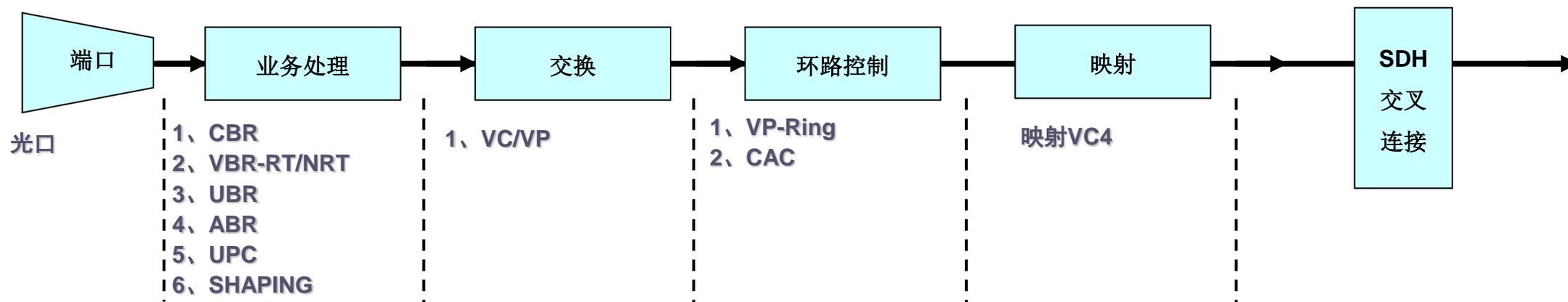
内容介绍

MSTP的定义及技术特点

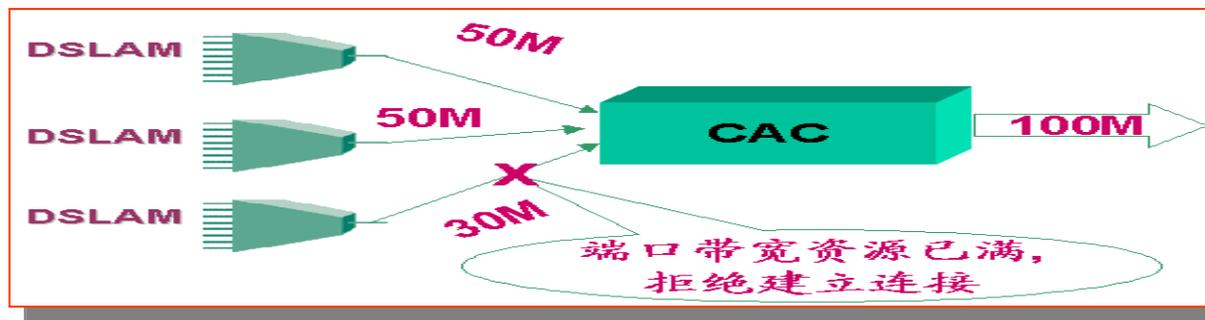
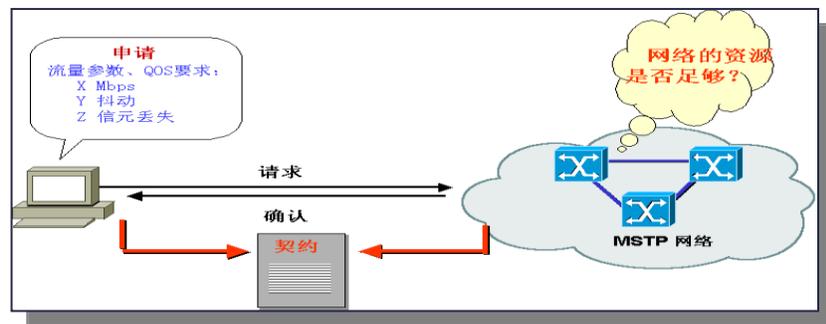
- MSTP的定义及设备形态
- 以太网功能和封装技术
- **ATM接入和统计复用**
- DDN和xDSL接入和处理



完整的ATM功能



😊 CAC: 建立连接前, 申请将发送的流量参数以及QoS要求, MSTP执行CAC确定网络是否有足够的资源来支持该连接请求。支持并确认建立连接, 并维持一种契约关系(流量参数以及QoS等)。



内容介绍

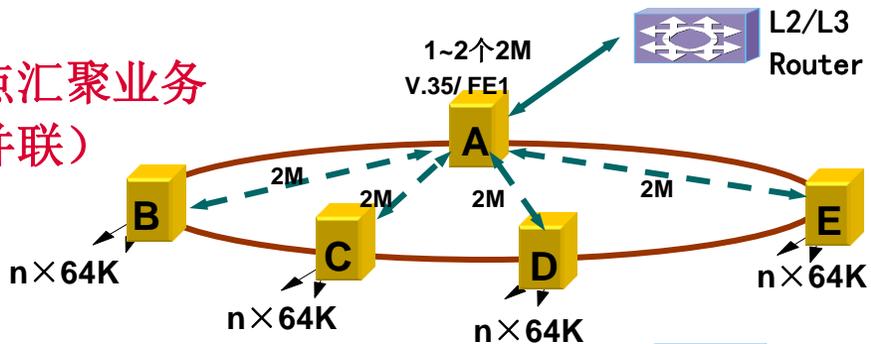
MSTP的定义及技术特点

- MSTP的定义及设备形态
- 以太网功能和封装技术
- ATM接入和统计复用
- DDN和xDSL接入和处理

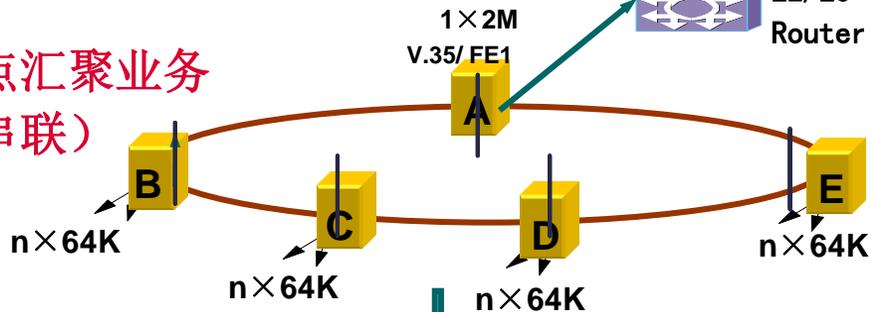


DDN专线业务拓展

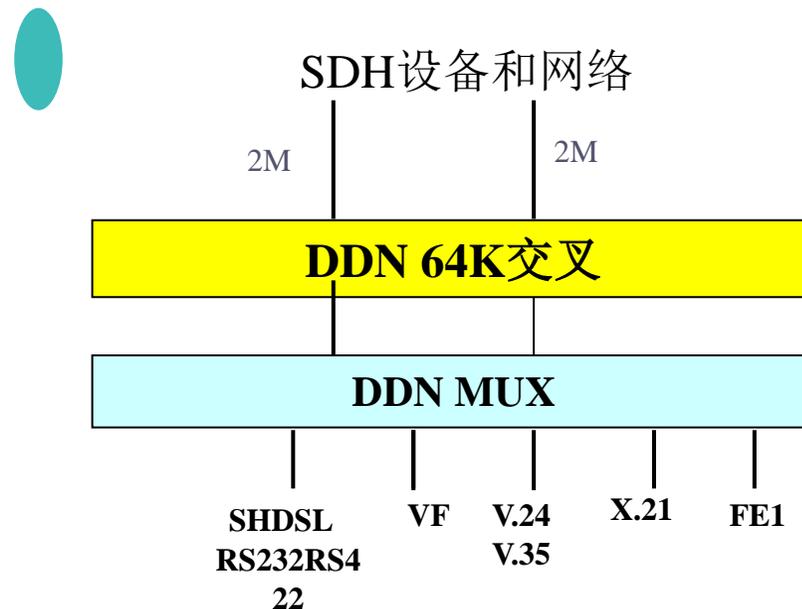
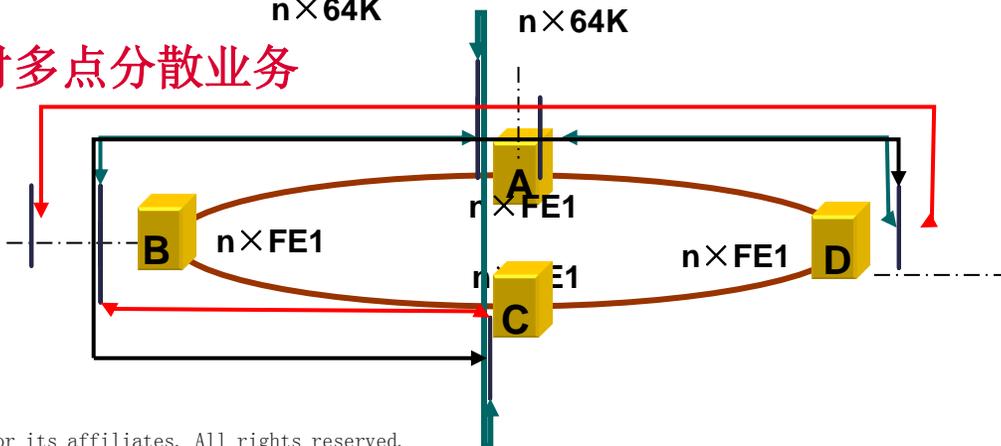
点对多点汇聚业务
(并联)



点对多点汇聚业务
(串联)



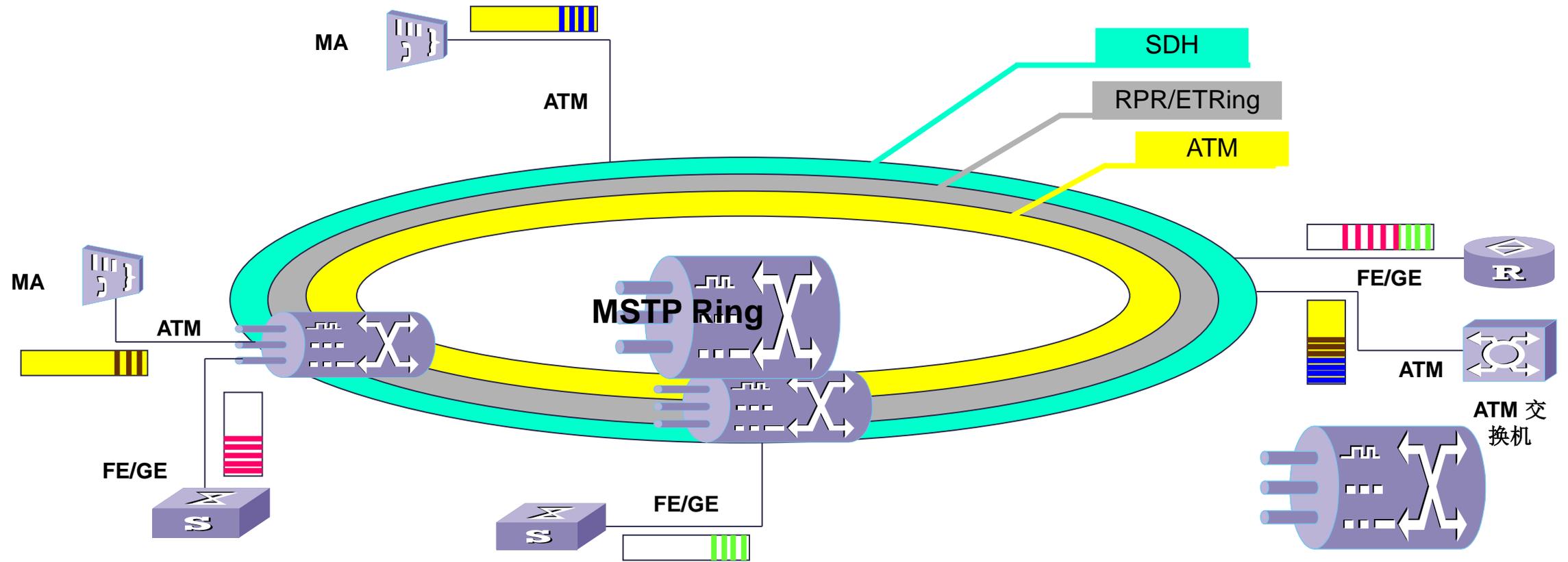
多点对多点分散业务



节省为少量的DDN业务而专门建设DDN网络的投资

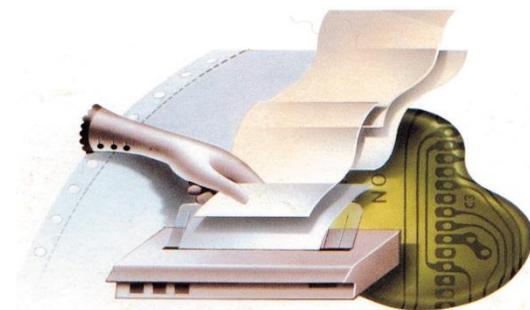
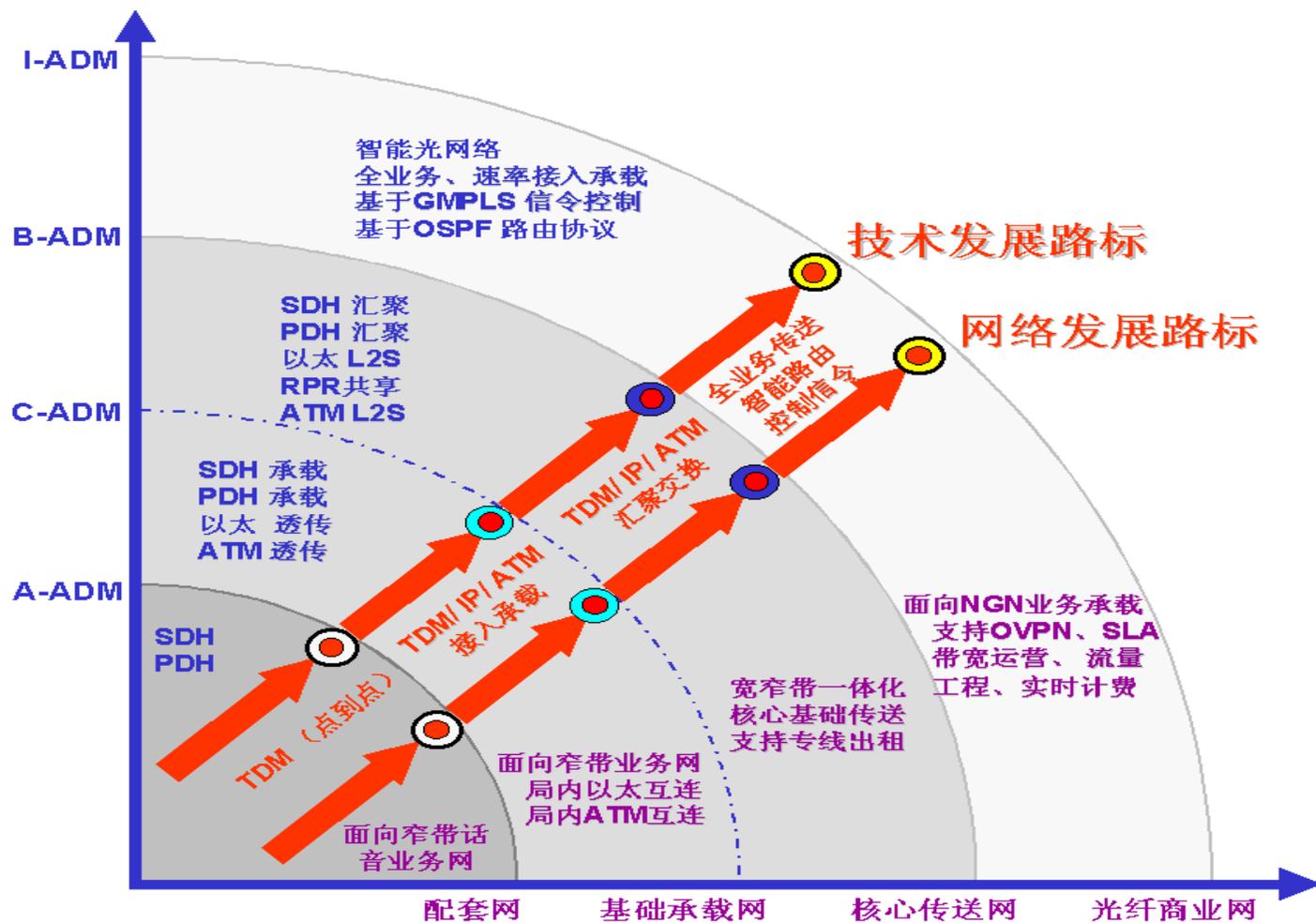
- 实现少量DDN专线的直接传送和交换
- 提高带宽利用率;
- 节省专门建设DDN网络的大量投资

小结:MSTP Ring



通过MSTP对接入的业务（ATM/Ethernet）进行统计复用处理，达到对网络带宽的充分利用。

MSTP传送技术的发展趋势



城域传送网络方案的差异

•下面再将ATM/RPR/MSTP作为城域传送网络的差异进行描述。

对比参数 \ 方案	ATM平台系统	RPR	MSTP（可以内嵌RPR）
QoS	高	高	专线模式下高
接入业务种类	较少	单一	多
成本	高	高	一般
TDM支持能力	无	无	支持
容量	一般	较高	较高
组网及保护能力	一般	低/高	高
应用场合	汇聚层、骨干层	汇聚层和核心层	接入层，汇聚层，提供传送通道

MSTP的优势：

- 1、对接入业务进行统计复用，带宽效率高。
- 2、保护现有投资，业务开展迅速；新建网络可以兼顾语音接入，成本较低；
- 3、多种业务统一网管，便于运营管理，实现端到端的业务模式；
- 4、安全可靠，实时传送，专线业务模式下性能好；

内容介绍

城域网与城域传送网MSTP的发展及需求

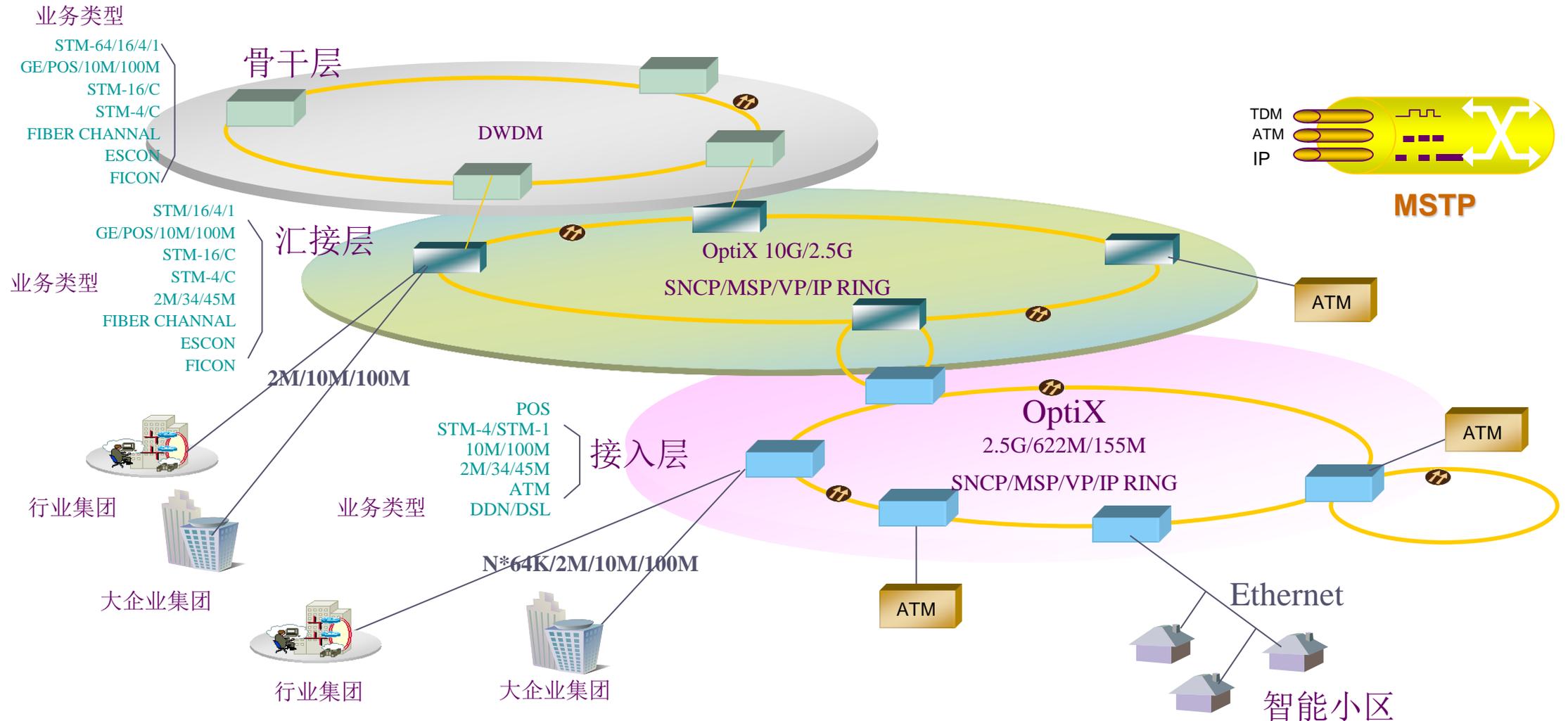
传统传送网络与城域传送网络MSTP的对比

MSTP的定义及技术特点

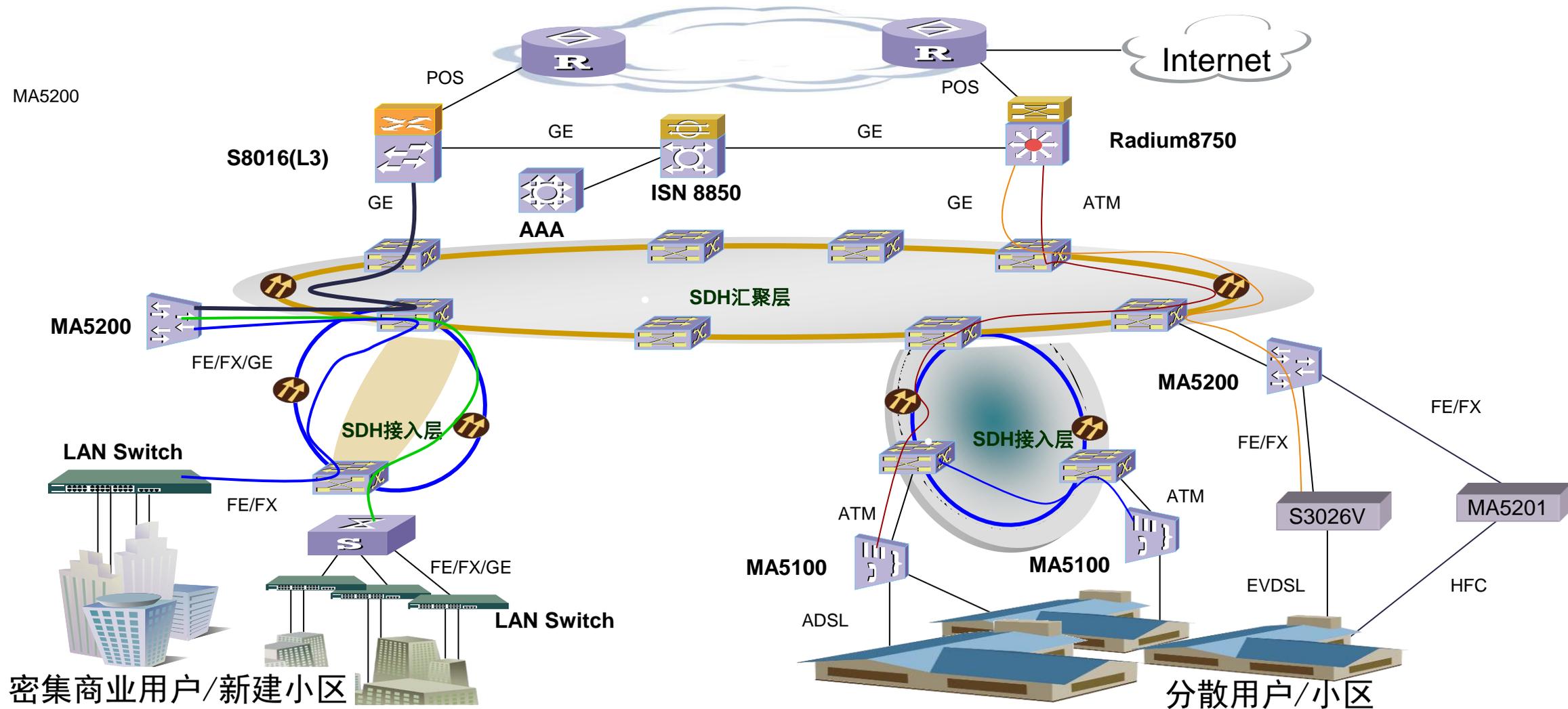
MSTP的组网应用



MSTP的组网总概

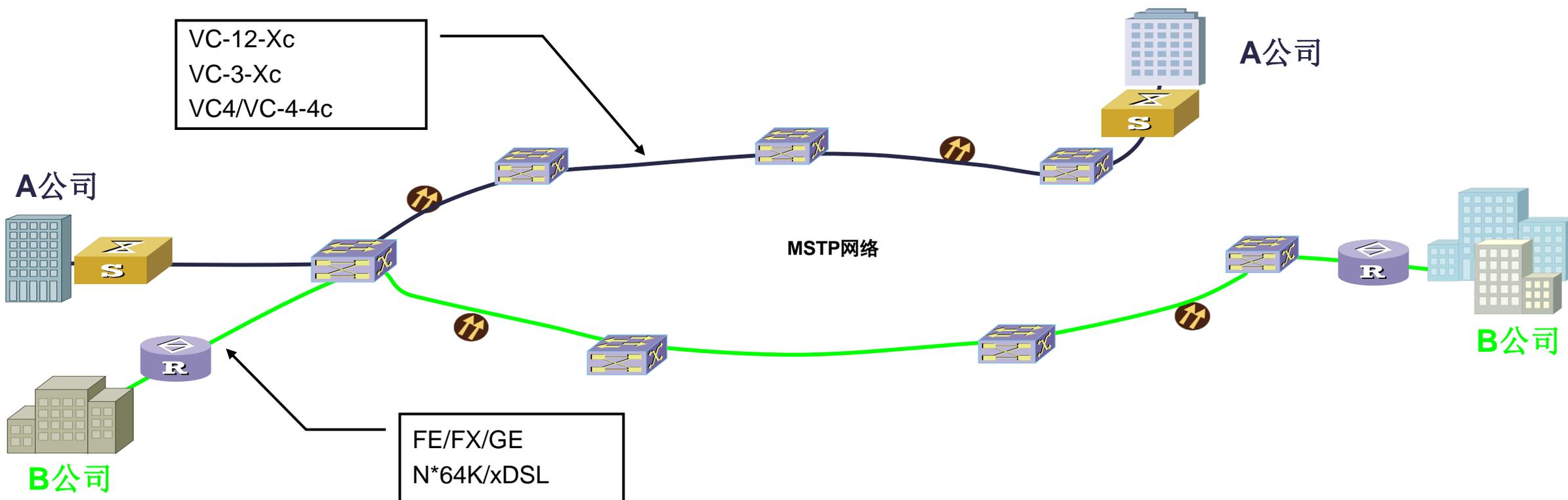


MSTP的网络组网—用户接入



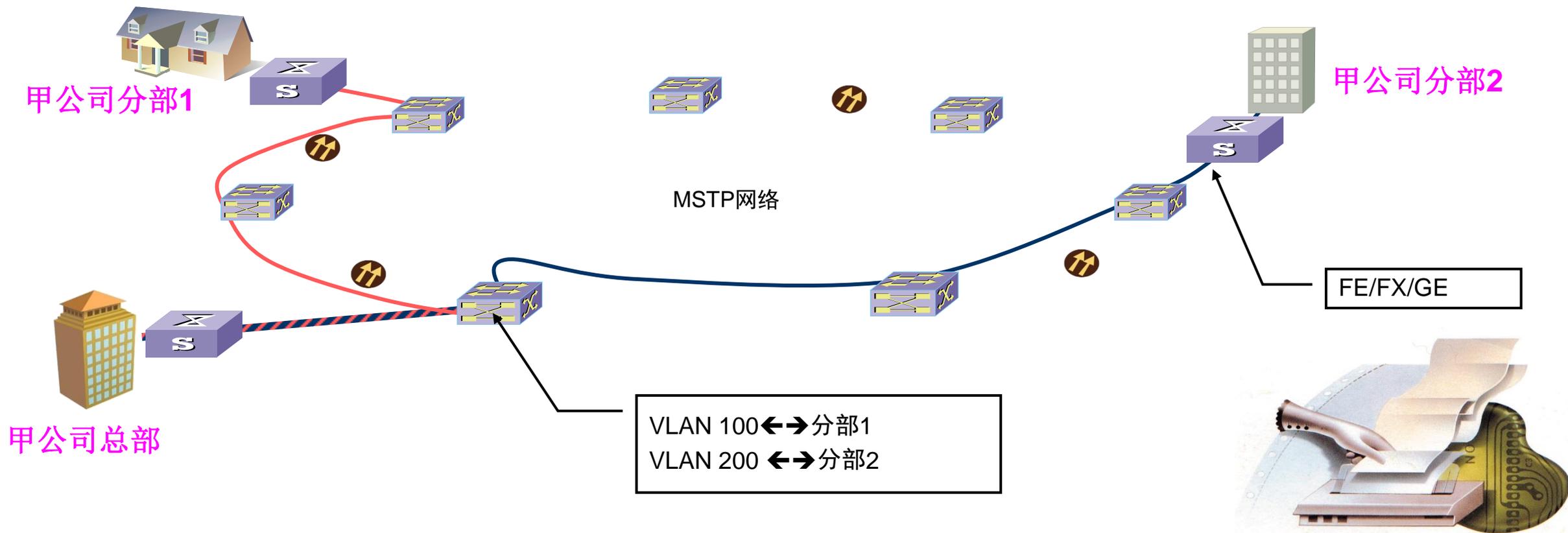
MSTP的网络组网—私有专线

- 对大客户私有专线的支持，MSTP有着较强有力的优势：
- 点到点QoS高，开通业务迅速，充分利用现有网络带宽资源……



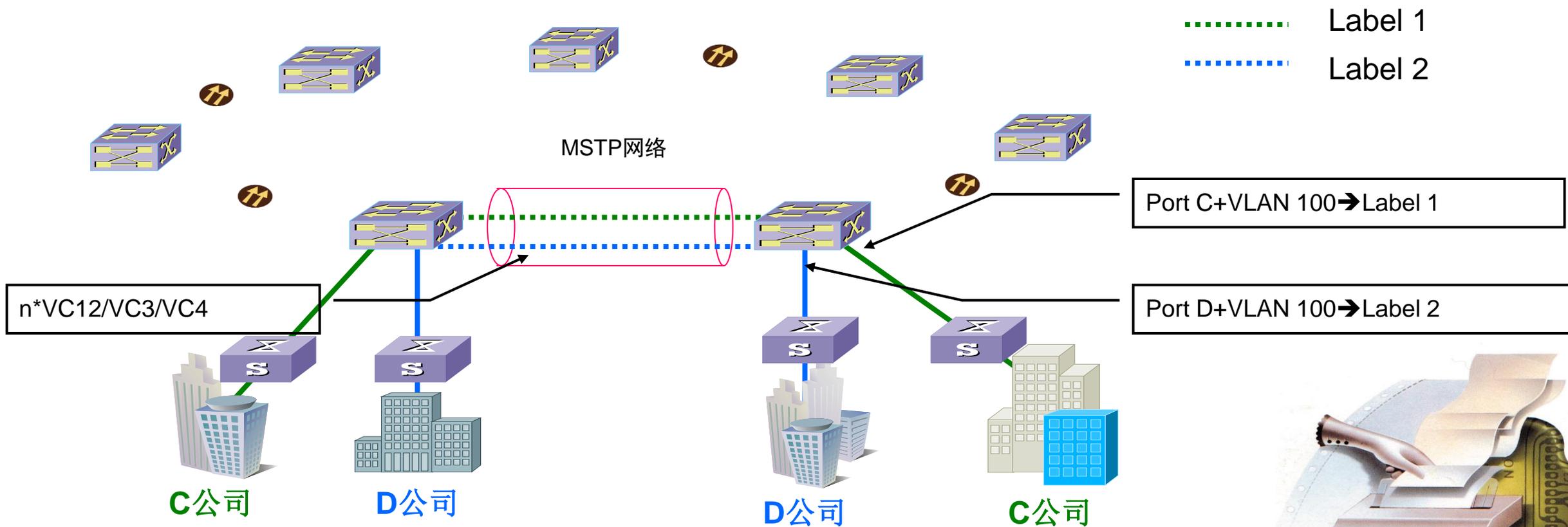
MSTP的网络组网—汇聚专线

- 汇聚专线一般用于企业有分部和总部互相通信需要时。



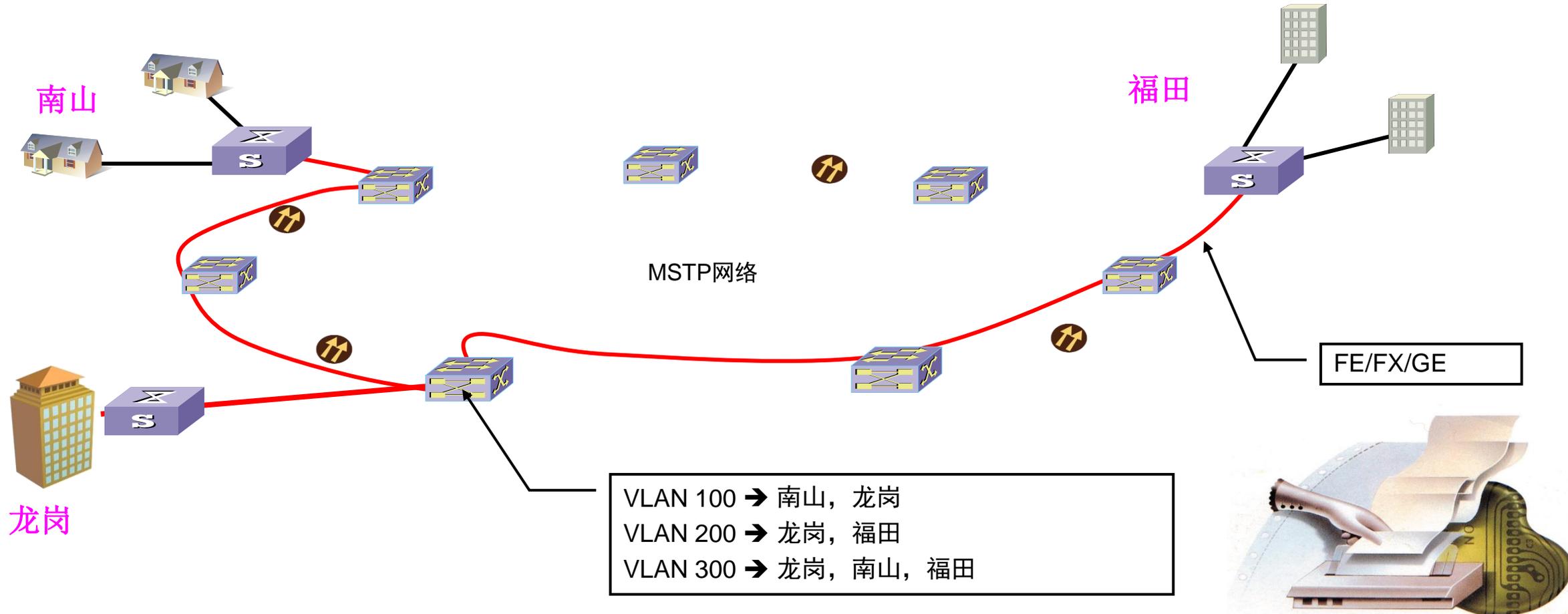
MSTP的网络组网—虚拟专线

- 用于两用户共享较大带宽，或错开使用时间。在费用不变的情况下获取更高的带宽资源。

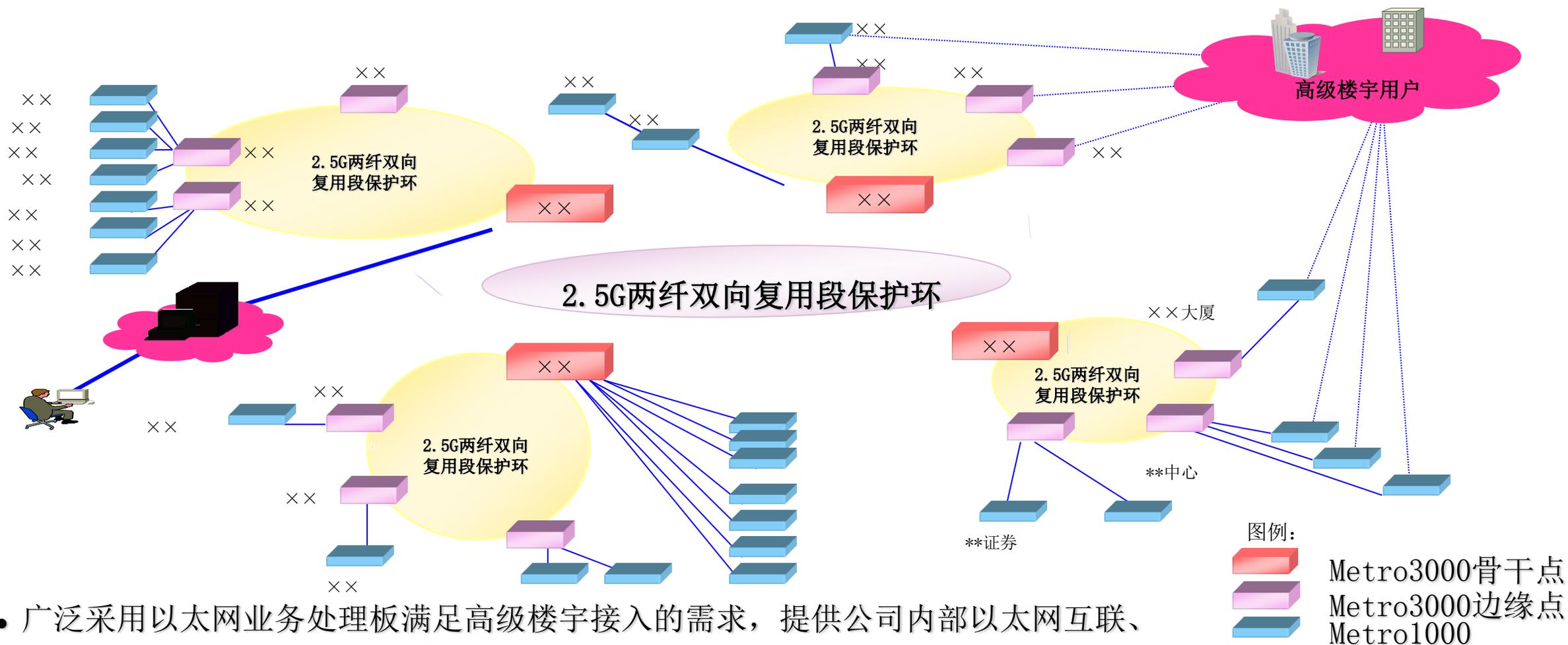


MSTP的网络组网—私有局域网

- 私有局域网一般用于企业各办公点有互相通信需要时。

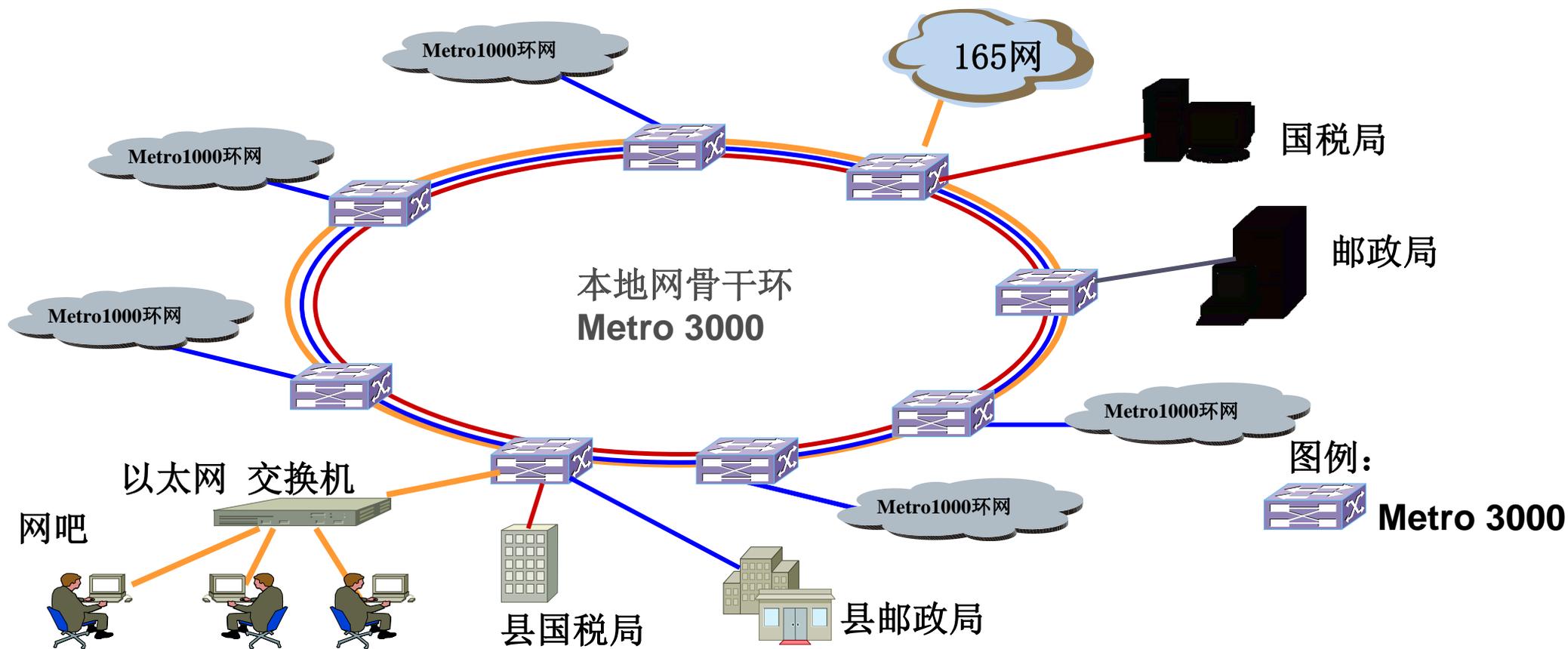


某综合业务城域传送网



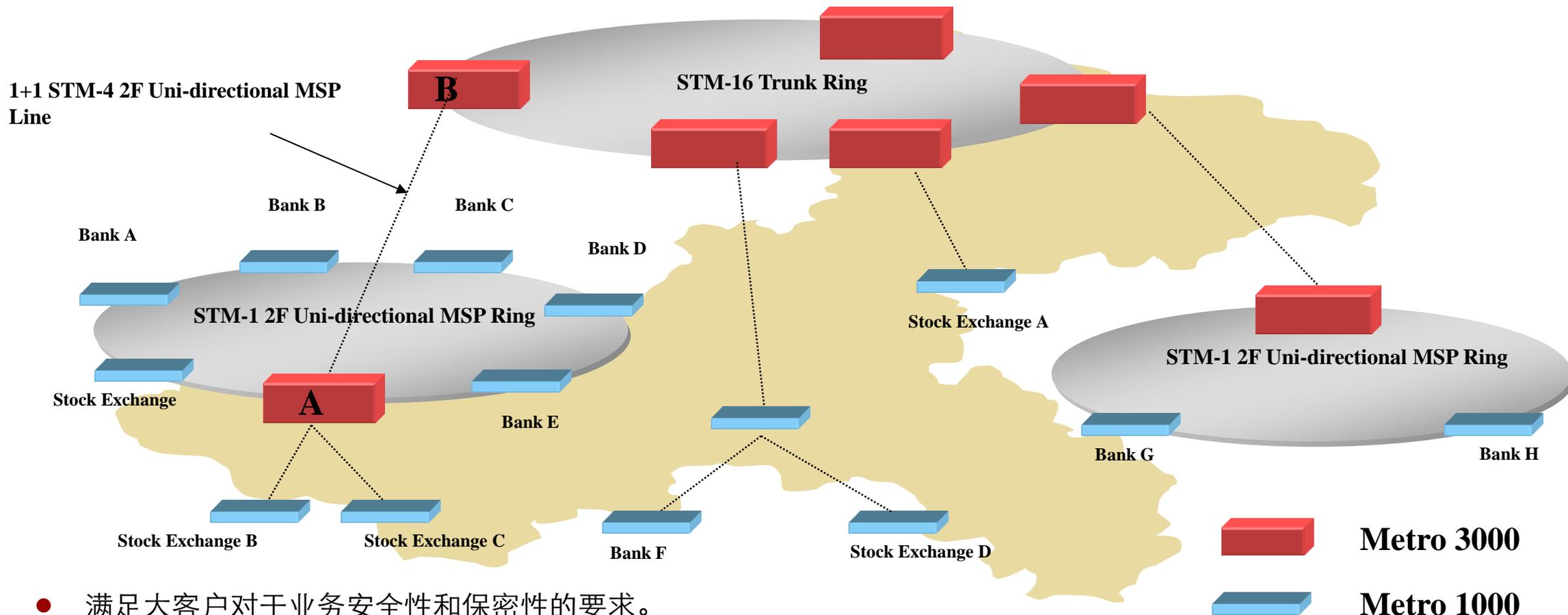
- 广泛采用以太网业务处理板满足高级楼宇接入的需求，提供公司内部以太网互联、传统的电话/专线业务、互联网宽带接入等全方位服务；

某MSTP城域网络



- 通过利用原有G网或C网的空余2M时隙进行IP数据业务拓展，实现宽带上网等数据业务；以最佳的性价比快速、灵活的满足数据终端用户需求。
- 通过配置2M数量的多少来调节数据用户需要的带宽；便于经营。

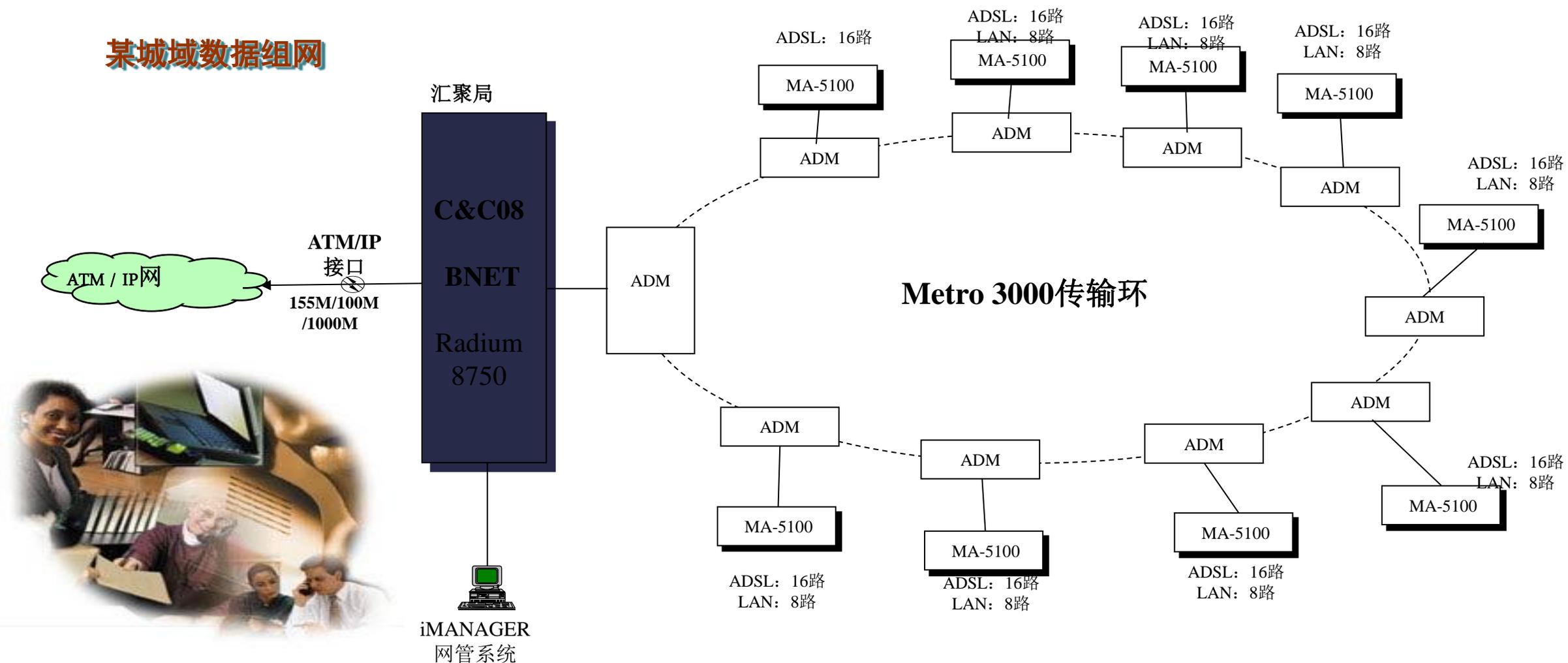
某MSTP大客户传送网



- 满足大客户对于业务安全性和保密性的要求。
- 带宽出租业务可提供 $N \times 64K$ 、2M、10/100M、155M等宽带数据业务和综合业务。
- 以“一变”应“万变”，持续、快速地满足大客户需求。

MSTP的网络组网—ATM接入示例

某城域数据组网



课堂交流

- 问题1： MSTP的优势和劣势？一般应用于网络的哪个层次？
- 问题2： MSTP是如何做到多业务高效接入的？有哪些技术体现？
- 问题3： MSTP的发展前景如何？



总结

本课程我们主要学习了：

- 城域传送网MSTP的概念及发展由来
- 传统传送网络承载业务特点
- 城域传送网MSTP的几种解决方案及它们的差异
- MSTP的定义及其设备技术特点
- MSTP的网络组网应用



课程结束 谢谢

课程结束 谢谢