

- 对于**320G**系统，制约系统设计的主要因素有三个：
  - 线路衰减：使用放大器提升功率
  - 色散：**1、色度色散**：选用色散容限较高的激光器、使用色散补偿技术。
  - **2、PMD**：目前没有比较成熟（商用）补偿方式。
  - 系统信噪比（**OSNR**）：使用带**FEC**的**OTU**、**Raman**放大器。
- 对于**DWDM**系统，在进行系统设计时，尽量简化设计模型，将系统看作线性系统，忽略非线性因素（在目前的功率设计要求下，可以不考虑非线性效应）。

## 一、衰耗受限距离计算

采用最坏值法设计：

$$L = (P_s - P_r - C - M_c) / (a_f + a_s)$$

式中：

$P_s$ ：为光放大器（WBA板）单信道的最小输出功率，单位为dBm。BWS320G光功率放大器WBA单信道输出功率取为+5dBm。

$P_r$ ：为320G 单信道接收端的最小允许输入功率，单位为dBm。

$C$ ：所有光连接器的衰减和，且每个光连接器的衰减为0.5dB。

$M_c$ ：为光缆的富余度，一般取3dB。

$a_f$ ：为光纤损耗系数（dB/km），对G.652光纤的1550nm波长区，一般可取0.22dB/km。

$a_s$ ：为平均每公里光纤接续损耗（dB/km），一般取0.05/2=0.025dB/km。

### 三种类型：功率放大器、线路放大器、前置放大器

A：发送端的光功率放大器有1种，即WBA02

B：线路光放大器有3种，

线路放大器1 (WPA04+WBA04) 可适应较长跨距并可加入DCM

线路放大器2 (WPA03+WBA04) 可优化较短跨距的OSNR并可加入DCM

线路放大器3 (WBA02) 可优化短跨距的OSNR，不能加入DCM

C：接收端的光前置放大器有3种(同线路放大器)，

前置放大器1 (WPA04+WBA04) 可适应较长跨距并可加入DCM

前置放大器2 (WPA03+WBA04) 可优化较短跨距的OSNR并可加入DCM

光放大器	单波输入光功率(dBm)	输入总功率(范围)/dBm	单波最大输出光功率(dBm)	理想增益(dB)*	应用系统及版本
WBA02	-18		+5	23	32波系统 V3.00R002
WPA03+WBA04	-23~-14	-23~ +1	+5	19~37	
WPA04+WBA04	-32~-23	-32~ -8	+5	28~43	
WPA02+WBA02	-38~-25*	-32~ -10	+5	30~46	

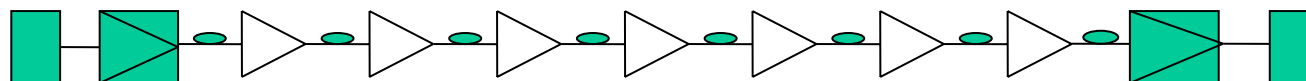
\*注：WPA02在6波输入时，输入单波功率范围为：-38~-25dBm，满足1×43dB的系统跨距；

在设计时需要根据线路衰减来选择放大器种类，要求输入单波功率在放大器的输入功率范围内。

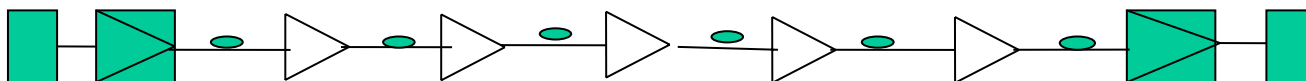
## 一、带FEC组网规格

对于STM-64信号，接收端的OSNR应 $>20\text{dB}$

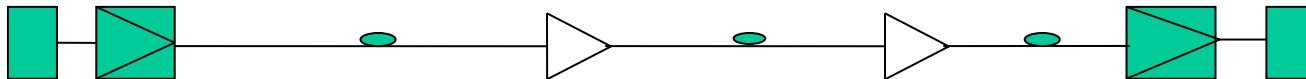
8×22dB



6× 24dB



3× 31dB



1× 36dB



## 二、带FEC组网配置

### — 8×22dB（目标距离8×80km）

实际中继传输衰耗 $\leq 22$ dB时，规范为22dB规格。

发送端配置增益为23dB的光功率放大器WBA，发送端的单波长输出功率为+5dBm，接收端配置增益为14dB/20dB前置光放大器WPA，或23dB的光功率放大器，接收端输入光功率为-17dBm。

### — 6×24dB（目标距离6×87km）

实际中继传输衰耗 $\leq 25$ dB时，规范为25dB规格。

发送端配置增益为23dB的光功率放大器WBA，发送端的单波长输出功率为+5dBm，接收端配置增益为14dB/20dB前置光放大器WPA，接收端输入光功率为-19dBm。

### — 3×31dB（目标距离3×113km）

实际中继传输衰耗 $\leq 27$ dB但 $> 25$ dB时，规范为27dB规格。

发送端配置增益为23dB的光功率放大器WBA，发送端的单波长输出功率为+5dBm，接收端配置增益为14dB/20dB的光前置放大器WPA，接收端输入光功率为-26dBm。

### — 1×36dB（目标距离1×130km）

实际中继传输衰耗 $\leq 29$ dB但 $> 27$ dB时，规范为29dB规格。

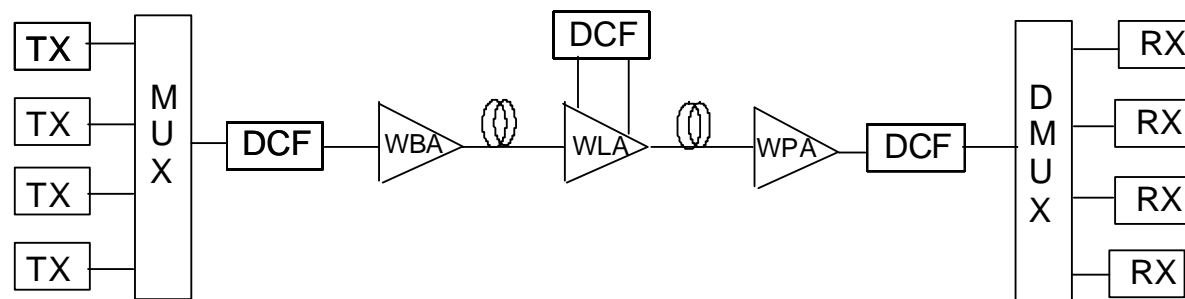
发送端配置增益为23dB的光功率放大器WBA，发送端的单波长输出功率为+5dBm，接收端配置增益为14dB/20dB的光前置放大器WPA，接收端输入光功率为-31dBm

光纤的色散分为两种：色度色散、PMD

色度色散：由于光纤所传送信号的不同频率成分或模式成分的群速度不同，而引起传输信号畸变的一种物理现象。

PMD（偏振模色散）：由于信号光的两个正交偏振态有不同的传播速度而引起的色散称偏振模色散。

## DCF在系统中实现宽带补偿示意图





## 1.2.2.1 色散容限配置

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)

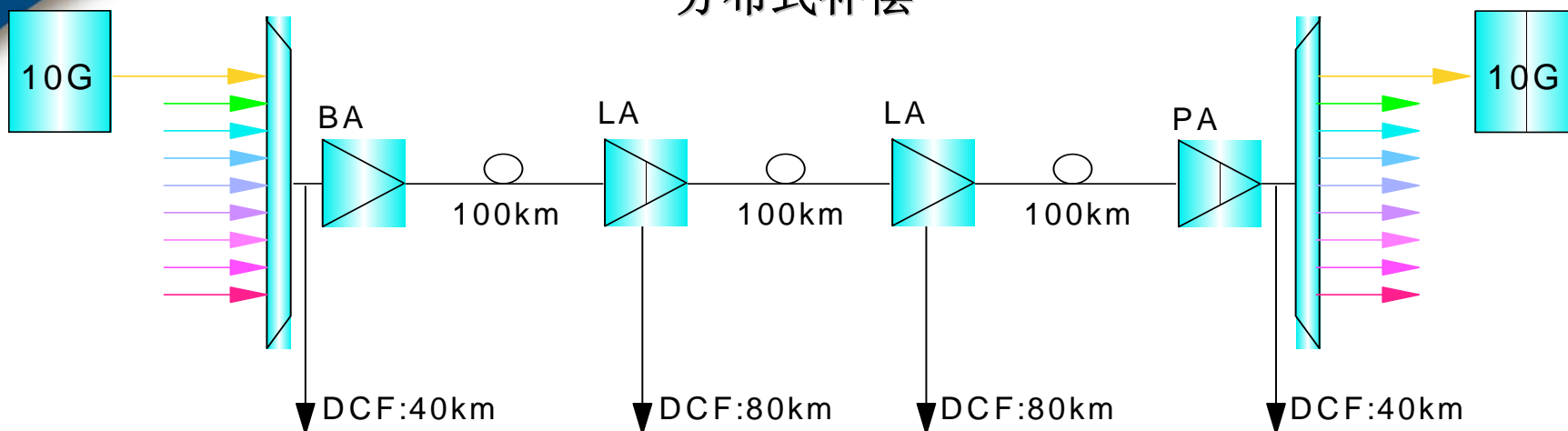
色散容限: BWS320G系统提供光发送端波长转换板TWF板的色散容限为700ps/nm, 若在G.652光纤中传输, 其色散系数为17ps/nm.km, 考虑到系统的冗余度10~30km, 无补偿最大传输距离 $L=700/17-(10\sim30)=10\sim30$ km。也就是说: 系统传输距离超过30km时就必须加入DCM(色散补偿光纤)进行补偿; 同理, 若在G.655光纤中传输, 其色散系数为6ps/nm.km, 无补偿最大传输距离 $L=700/6-(10\sim30)=86\sim106$ km, 因此, 传输距离超过106km时必须加入DCM补偿。

色散系数: G.652光纤在1550nm波长的色散系数为17ps/nm.km; G.655光纤在1550nm波长的色散系数为6ps/nm.km。

DCM(色散补偿模块)补偿: 可以按照实际补偿距离分为格四种不同规的色散补偿器: DCM(20)20km补偿器、DCM(40)40km补偿器、DCM(60)60km补偿器、DCM(80)80km补偿器。

## 充分考虑光纤的色散因素.....色度色散

### 分布式补偿



**A、**首先根据色散补偿原则计算出需要补偿的色散量，决定补偿的模块类型和数量，补偿尽量采用分布式补偿方式，即补偿模块尽量均匀放置。这样的补偿效果最好。如果在放置时发现放大器的增益不够，需要更换更大增益的放大器种类。

**B、**充分考虑到了色散补偿光纤的特性，在低功率区域和色散有效补偿区域内进行色散补偿。避免色散补偿光纤的非线性效应。

(ITU-T建议: 光纤PMD系数 $<0.5\text{PS}/\text{km}^{1/2}$ , 1dB功率代价下PMD时延  $< 0.1$ 个信号bit周期。10Gb/s信号的bit周期为100ps)。因此, 10Gb/s信号受标准限定的PMD受限距离:

$$10\text{PS}/(400\text{KM})^{1/2} = 0.5\text{PS}/\text{KM}^{1/2}$$

但1992年后铺的光纤、尤其是98年后的新光纤PMD参数大都 $<0.2\text{PS}/\text{km}^{1/2}$ , 部分光纤PMD系数 $<0.08\text{PS}/\text{km}^{1/2}$ , 同样在1dB的功率代价下PMD的受限距离 $>2500\text{KM}$ 。

单波长为10Gb/s时, 华为的PMD设计原则:

PMD $<4\text{ps}$ 时, 不需要考虑光功率代价

4ps $\leq$ PMD $<10\text{ps}$ 时, 1dB光功率代价冗余设计

10ps $\leq$ PMD $<14\text{ps}$ 时, 2dB光功率代价冗余设计

PMD $\geq 14\text{ps}$ 时, 建议划分为多个再生段处理。

实际组网应用中最常用的是不等间距组网，由于WDM传输是色散和OSNR受限系统，所以在进行不等间距组网时，在色散满足要求的情况下（对于OptiX BWS 320G-III，色散受限距离为640km），主要考虑OSNR这一参数。

## 一、级联放大器信噪比计算

单个放大器产生的ASE噪声功率：

一个光放大器产生的自发辐射噪声功率PASE'为

$$P_{ASE}' = 2N_{sp}(G-1)h\nu \cdot \Delta\nu \quad (\text{mw})$$

式中：Nsp是放大器自发辐射因子

ν 是光中心频率

h 是普朗克常数

G 是放大器的增益(倍数)

Δν 是光接收机的带宽(取0.1nm)。

进而可以推导出，一个光放大器产生的以dBm计的自发辐射噪声功率：

$$P_{ASE} = -58 + NFi + Gi \quad (\text{dBm}) \quad (1)$$

其中：NFi为光放大器噪声系数 (dB)；

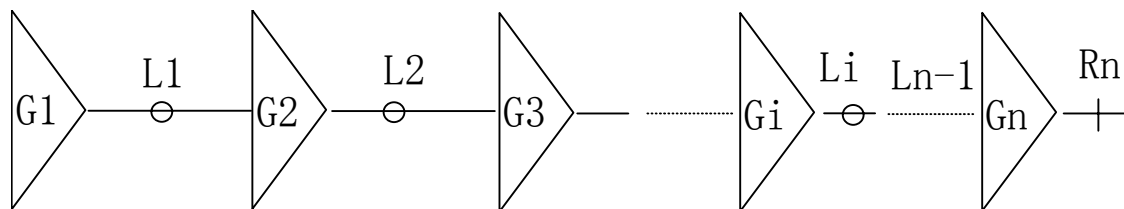
Gi为光放大器的增益 (dB)。

## 一、级联放大器信噪比计算

(2)、复用通路光接收机输入端的信噪比

### ①、系统模型

包括N个级联光放大器的WDM系统模型如下图所示



图中：L1、L2、... Ln-1分别是第1、2、... n-1个区段的衰减(dB)；

G1、G2、... Gn 分别是第1、2、... n个光放大器的增益(dB)。

### ②、各光放大器产生的ASE噪声功率

利用已经推导出的公式，首先分别计算出每个光放大器产生的ASE噪声功率 $P_{ASEi}$  (dBm)。

## 一、级联放大器信噪比计算

③、 计算N个光放大器在光接收机输入端产生的ASE累积噪声功率 $P_{ASE}$

每个光放大器产生的ASE噪声功率 $P_{ASE}$ ，都既要经过其后面的光纤区段的衰减，又要经过其后面的光放大器的放大；然后才能到达光接收机的输入端 $R_n$ 点。

因此，系统中N个光放大器在光接收机输入端 $R_n$ 点的累积噪声功率为：

$$\begin{aligned} P_{ASE}' &= \text{EDFA}_1 \text{ 产生的累积自发辐射噪声功率} + \text{EDFA}_2 \text{ 产生的累积自发辐射噪声功率} + \dots + \text{EDFA}_{n-1} \text{ 产生的} \\ &\text{累积自发辐射噪声功率} + \text{EDFA}_n \text{ 产生的累积自发辐射噪声功率} \\ &= 10E[0.1(P_{ASE1}-L_1+G_2-\dots-L_{n-1}+G_n)] + 10E[0.1(P_{ASE2}-L_1+G_2-\dots-L_{n-1}+G_n)] + \dots + \\ &10E[0.1(P_{ASEn-1}-L_{n-1}+G_n)] + 10E[0.1(P_{ASEn})] \quad (\text{mw}) \quad (2) \end{aligned}$$

为了便于光信噪比的计算，需把以上计算结果换算成dBm形式：

$$P_{ASE} = 10\log P_{ASE}' \quad (\text{dBm})$$

## 一、级联放大器信噪比计算

### ④、计算光接收机输入端R<sub>n</sub>点的光信号功率

假定第一个光放大器在每个复用通路的输出光功率为P<sub>out</sub> (dBm), 因光放大器是增益锁定的, 所以后面的光放大器仅起放大作用, 其输出光功率的大小与输入光功率有关。因此经过n-1个区段的衰减和n-1个光放大器的放大之后, 到达R<sub>n</sub>点的光信号功率为:

$$P_{Rn} = P_{out} - L_1 + G_2 - \dots - L_{n-1} + G_{n-1} \quad (\text{dBm}) \quad (3)$$

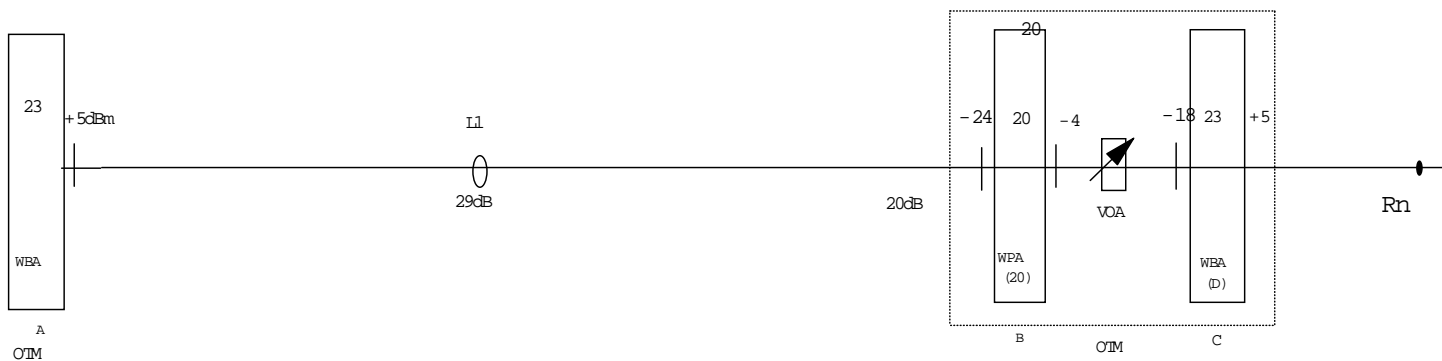
### ⑤、最后可得R<sub>n</sub>点的光信噪比

$$\text{OSNR} = P_{Rn} - P_{ASE} \quad ($$



## 一、级联放大器信噪比计算

以1×29系统的OSNR计算为例：



## 一、级联放大器信噪比计算

①、各放大器产生的自发辐射噪声功率为：

由（1）式知，每个光放大器产生的ASE噪声功率为：

$$P_{ASE} = -58 + N_{Fi} + G_i$$

其中： $N_F$ 等于 5dB （WPA(14)、WPA（20））

$$5.5\text{dB} \quad (\text{WBA、WBA (D)})$$

因此这三段3个光放大器产生的ASE噪声功率为：

$$P_{ASEA} = -58 + 5.5 + 23 = -29.5\text{dBm} ;$$

$$P_{ASEB} = -58 + 5.0 + 20 = -33\text{dBm} ;$$

$$P_{ASEC} = -58 + 5.5 + 23 = -29.5\text{dBm} ;$$

## 一、级联放大器信噪比计算

②、最终OTM站光接收机输入端R<sub>n</sub>点的累积噪声功率

根据公式(2)可以计算出这7个光放大器在光接收机输入端的累积噪声功率:

$$\begin{aligned}
 P_{ASE}' &= 10E[0.1(P_{ASEA}-L_1+G_2-L_2+G_3)]+10E[0.1 \\
 &\quad (P_{ASEB}-L_2+G_3)]+ \dots +10E[0.1(P_{ASEC})] \\
 &= 10E[0.1(-29.5-29+20-14+23)]+10E[0.1(-33-14+23)]+10E[0.1(- \\
 &\quad 29.5)]=10E(-2.95)+10E(-2.4)+10E(-2.95)=10E(-2.95) \times 2+10E(-2.4)=0.006225\text{mw}
 \end{aligned}$$

把它换算成dBm形式表示:

$$P_{ASE} = 10\log P_{ASE}' = 10\log(0.006225) = -22 \text{ dBm} .$$

## 一、级联放大器信噪比计算

③、 计算终端OTM站光接收机输入端R<sub>n</sub>点的光信号功率

由（3）式可得：

$$\begin{aligned} P_{Rn} &= P_{out} - L_1 + G_2 - L_2 + G_3 \\ &= +5 - 29 + 20 - 14 + 23 \\ &= +5\text{m} \end{aligned}$$

④、 最后得到光接收机输入端R<sub>n</sub>点的光信噪比

$$OSNR = P_{Rn} - P_{ASE} = +5 - (-22) = 27\text{dB}。$$

符合建议要求。