

ICS 33.040.20

M33

**YD**

# 中华人民共和国通信行业标准

YD/T 1274—2003

---

## 光波分复用系统 (WDM) 技术要求 ——160×10Gb/s、80×10Gb/s 部分

Technical specification for optical Wavelength Division  
Multiplexing (WDM) system  
——160×10Gb/s and 80×10Gb/s part

2003-06-05 发布

2003-06-05 实施

---

中华人民共和国信息产业部 发布

# 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 缩略语 .....	1
4 光波长区分配 .....	2
5 波分复用器件的基本要求 .....	6
6 光放大器 .....	11
7 光接口分类 .....	16
8 WDM 系统光接口参数的定义及要求 .....	18
9 波长转换器 (OTU) 的要求 .....	23
10 WDM 系统监控通路要求 .....	29
11 OADM 要求 .....	29
12 网络管理要求 .....	31
13 网络性能 .....	31
14 APR 和 ALS 进程 .....	32

## 前 言

YD/T 1279—2003《光波分复用系统（WDM）技术要求——160×10Gb/s、80×10Gb/s 部分》是光波分复用系统系列标准之一。该系列标准有：

- (1) YDN 120—1999《光波分复用系统总体技术要求（暂行规定）》；
- (2) YD/T 1060—2000《光波分复用系统（WDM）技术要求——32×2.5Gbit/s 部分》；
- (3) YD/T 1143—2001《光波分复用（WDM）技术要求——16×10Gb/s、32×10Gb/s 部分》；
- (4) YD/T 1159—2001《光波分复用（WDM）系统测试方法》；
- (5) YD/T 1279—2003《光波分复用系统（WDM）技术要求——160×10Gb/s、80×10Gb/s 部分》。

本标准由中国通信标准化协会提出并归口。

本标准起草单位：信息产业部电信传输研究所

本标准主要起草人：张成良 李允博 李芳

# 光波分复用系统 (WDM) 技术要求

## ——160×10Gb/s、80×10Gb/s 部分

### 1 范围

本标准规定了以 10Gb/s 速率为基础的 160 通路和 80 通路 WDM 系统的光波长区分配、波分复用器件、光放大器和光接口等技术要求。

本标准适用于以 10Gb/s 速率为基础的 160 通路和 80 通路单纤单向 WDM 系统, 承载信号为 SDH STM-64 系统或 10Gb/s 以太网信号, 即 160×10Gb/s 和 80×10Gb/s 的 WDM 系统。

本标准适用于 2 000km 以内的长途传输, 2 000km 以上超长传输系统不在本标准规范之内。

本标准规定的光接口参数指标适用于零色散窗口为 1 310nm 的常规 G.652 光缆系统, 非零色散位移 (G.655) 光缆系统可参照执行。

本标准定义的 160 波系统为波长间隔为 50GHz WDM 系统。间隔为 25GHz 的 160 波系统有待规定。单纤双向 WDM 系统不在本标准之内; 不采用喇曼放大器, 采用非 NRZ 调制方式达到亚超长距离传输的系统不在本标准之内。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件, 其随后所有的修改单 (不包括勘误的内容) 或修订版均不适用于本标准, 然而, 鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件, 其最新版本适用于本标准。

YDN 120—1999	光波分复用系统总体技术要求 (暂行规定)
YDN 1060—2000	光波分复用系统总体技术要求——16×10Gb/s、32×10Gb/s 部分
ITU-T 建议 G.652 (2000)	单模光纤光缆的特性
ITU-T 建议 G.653 (2000)	色散位移单模光纤光缆的特性
ITU-T 建议 G.655 (2000)	非零色散单模光纤光缆的特性
ITU-T 建议 G.661 (2001)	光纤放大器的相关通用参数的定义和测试方法
ITU-T 建议 G.662 (1998)	光纤放大器设备和子系统的主要特性
ITU-T 建议 G.663 (1998)	与光放大器有关传输问题
ITU-T 建议 G.671 (2000)	无源光器件要求
ITU-T 建议 G.691 (2000)	有光放大器 SDH 单通路系统和 STM-64 系统的光接口
ITU-T 建议 G.692 (1999)	有光放大器多通路系统的光接口
ITU-T 建议 G.783 (2000)	SDH 设备功能块
ITU-T 建议 G.957 (1995)	SDH 系统和设备的光接口
ITU-T 建议 G.693 (2002)	甚短距离光接口要求

### 3 缩略语

下列缩略语适用于本标准。

ALS	Automatic Laser Shut-down	激光器自动关闭
APD	Avalanche Photo Diode	雪崩光电二极管
ASE	Amplified Spontaneous Emission	放大自发辐射

AFR	Absolute Frequency Reference	绝对频率参考
BA	Booster Amplifier	功率放大器
BER	Bit Error Rate	误码率
XPM	Cross-Phase Modulation	交叉相位调制
DCF	Dispersion Compensation Fiber	色散补偿光纤
DGD	Differential Group Delay	群时延
EXT	Extinction Ratio	消光比
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier	掺铒光纤放大器
FWHM	Full Width at Half Maximum	半幅全宽
FWM	Four Wave Mixing	四波混频
LA	Line Amplifier	线路放大器
LOS	Loss Of Signal	信号丢失
MPI	Main Path Interface	主通道接口
NRZ	Non Return to Zero	非归零码
OA	Optical Amplifier	光放大器
OADM	Optical Add/Drop Multiplexer	光分插复用器
OM/OD	Optical Multiplexing/Demultiplexing	光复用器/解复用器
ORL	Optical Return Loss	光回损
OSNR	Optical Signal to Noise Ratio	光信噪比
OSC	Optical Supervisory Channel	光监控通路
OXC	Optical cross-Connect	光交叉连接
PA	Pre-Amplifier	前置放大器
PDC	Passive Dispersion Compensator	无源色散补偿器
PMD	Polarization Mode Dispersion	偏振模色散
PRBS	Pseudo Random Binary Sequence	伪随机码序列
RS	Regenerator Section	再生段
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	同步数字系列
SMSR	Side Mode Suppression Ratio	边模抑制比
SPM	Self Phase Modulation	自相位调制
STM- <i>N</i>	Synchronous Transport Module Level <i>N</i>	同步传输模块等级 <i>N</i>
WDM	Wavelength Division Multiplexing	波分复用

## 4 光波长区分配

### 4.1 绝对频率参考和最小通路间隔

#### 4.1.1 绝对频率参考

选择 193.1THz 作为频率栅隔的参考频率，比基于任何特殊物质的绝对频率参考 (AFR) 更好 (对于不同的应用需要选择特定的 AFR)，因为 193.1THz 值处于几条 AFR 线附近。一个光频率参考可以为光信号提供较高的频率精度和频率稳定度，具体的频率精度和频率稳定度的值正在研究当中，这两者都应符合理想的频率标准，包括碘稳定氦—氩激光器和甲烷稳定氦—氩激光器。

对 AFR 的要求可以用频率和真空中的光速表示，AFR 精确度指的是 AFR 信号相对于理想频率的长期频率偏移 (其中长期是指 AFR 预定的工作时间)。频率精度包括温度、湿度和其它环境条件变化可能引起的频率变化，也包括了理想频率标准的稳定性、可重复性和跟踪能力。AFR 的稳定性待研究。

#### 4.1.2 通路间隔

通路间隔指的是相邻通路间的标称频率差，可以是均匀间隔也可以是非均匀间隔的。非均匀间隔可

以用来抑制 G.653 光纤中的四波混频效应 (FWM)。本标准只规范均匀通路间隔的系统。

#### 4.1.3 C 波段

又称为常规波段, 系统大多工作在该频段, 为 1 528~1 565nm。

#### 4.1.4 L 波段

又称为长波长波段, 为 1 565~1 625nm。

### 4.2 标称中心频率

标称中心频率指的是光波分复用系统中每个通路对应的中心波长。本标准中允许的通路频率是基于参考频率为 193.1THz、最小间隔为 50GHz 的频率间隔系列。

### 4.3 80 通路 (50GHz 间隔) WDM 系统通路分配表

基于近年来掺铒光纤放大器 (EDFA) 技术的迅速发展, EDFA 的增益平坦度和平坦输出范围都有了很大提高, 对于 80 波 WDM 系统本标准规定采取连续波 80 通路、波长间隔 50GHz 波长选择, 其中心频率应满足表 1 的要求。

基于 C 波段 80 通路 (50GHz 间隔) 的 WDM 系统波长应选用 191.80~196.05THz 波长区域内间隔 50GHz 86 个波长中的连续 80 个波长, 优先选用位于 192.10~196.05THz 频段 80 波, 其波长分配参见表 1。

对于已经开通 C 波段 WDM 系统的光纤, 间隔 50GHz 的 80 通路系统波长选择应在 C 波段, 以有利于前后兼容性。

表 1 基于 C 波段的 80 通路 (50GHz 间隔) WDM 系统波长分配方案

C 波段 编号	间隔 50GHz 的 标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)	C 波段 编号	间隔 50GHz 的 标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)
1*	196.05	1 529.16	44*	193.90	1 546.12
2*	196.00	1 529.55	45*	193.85	1 546.52
3*	195.95	1 529.94	46*	193.80	1 546.92
4*	195.90	1 530.33	47*	193.75	1 547.32
5*	195.85	1 530.72	48*	193.70	1 547.72
6*	195.80	1 531.12	49*	193.65	1 548.11
7*	195.75	1 531.51	50*	193.60	1 548.51
8*	195.70	1 531.90	51*	193.55	1 548.91
9*	195.65	1 532.29	52*	193.50	1 549.32
10*	195.60	1 532.68	53*	193.45	1 549.72
11*	195.55	1 533.07	54*	193.40	1 550.12
12*	195.50	1 533.47	55*	193.35	1 550.52
13*	195.45	1 533.86	56*	193.30	1 550.92
14*	195.40	1 534.25	57*	193.25	1 551.32
15*	195.35	1 534.64	58*	193.20	1 551.72
16*	195.30	1 535.04	59*	193.15	1 552.12
17*	195.25	1 535.43	60*	193.10	1 552.52
18*	195.20	1 535.82	61*	193.05	1 552.93
19*	195.15	1 536.22	62*	193.00	1 553.33

表 1 (续)

C 波段 编号	间隔 50GHz 的 标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)	C 波段 编号	间隔 50GHz 的 标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)
20*	195.10	1 536.61	63*	192.95	1 553.73
21*	195.05	1 537.00	64*	192.90	1 554.13
22*	195.00	1 537.40	65*	192.85	1 554.54
23*	194.95	1 537.79	66*	192.80	1 554.94
24*	194.90	1 538.19	67*	192.75	1 555.34
25*	194.85	1 538.58	68*	192.70	1 555.75
26*	194.80	1 538.98	69*	192.65	1 556.15
27*	194.75	1 539.37	70*	192.60	1 556.55
28*	194.70	1 539.77	71*	192.55	1 556.96
29*	194.65	1 540.16	72*	192.50	1 557.36
30*	194.60	1 540.56	73*	192.45	1 557.77
31*	194.55	1 540.95	74*	192.40	1 558.17
32*	194.50	1 541.35	75*	192.35	1 558.58
33*	194.45	1 541.75	76*	192.30	1 558.98
34*	194.40	1 542.14	77*	192.25	1 559.39
35*	194.35	1 542.54	78*	192.20	1 559.79
36*	194.30	1 542.94	79*	192.15	1 560.20
37*	194.25	1 543.33	80*	192.10	1 560.61
38*	194.20	1 543.73	81	192.05	1 561.01
39*	194.15	1 544.13	82	192.00	1 561.42
40*	194.10	1 544.53	83	191.95	1 561.83
41*	194.05	1 544.92	84	191.90	1 562.23
42*	194.00	1 545.32	85	191.85	1 562.64
43*	193.95	1 545.72	86	191.80	1 563.05

\*: 优选波长

#### 4.4 160 通路 (50GHz 间隔) WDM 系统通路分配表

160×10Gb/s 的 WDM 系统采用波长间插技术, 使用 C+L 波段 160 个波长, 波段内的波长间隔为 50GHz。C 波段的波长分布范围为 1529.16~1563.05nm (191.80~196.05THz), 采用表 1 的选择; L 波段的波长分布范围为 1570.42~1603.57nm (186.95~190.90THz)。

L 波段的 80 通路 (50GHz 间隔) 波长分配方案参见表 2。

160 通路 WDM 系统的 160 个光通路的中心频率应符合表 1 和表 2 的要求。

表 2 基于 L 波段的 80 通路 (50GHz 间隔) WDM 系统波长分配方案

L 波段 编号	间隔 50GHz 的 标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)	L 波段 编号	间隔 50GHz 的 标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)
1	190.90	1 570.42	41	188.90	1 587.04
2	190.85	1 570.83	42	188.85	1 587.46
3	190.80	1 571.24	43	188.80	1 587.88
4	190.75	1 571.65	44	188.75	1 588.30
5	190.70	1 572.06	45	188.70	1 588.73
6	190.65	1 572.48	46	188.65	1 589.15
7	190.60	1 572.89	47	188.60	1 589.57
8	190.55	1 573.30	48	188.55	1 589.99
9	190.50	1 573.71	49	188.50	1 590.41
10	190.45	1 574.13	50	188.45	1 590.83
11	190.40	1 574.54	51	188.40	1 591.26
12	190.35	1 574.95	52	188.35	1 591.68
13	190.30	1 575.37	53	188.30	1 592.10
14	190.25	1 575.78	54	188.25	1 592.52
15	190.20	1 576.20	55	188.20	1 592.95
16	190.15	1 576.61	56	188.15	1 593.37
17	190.10	1 577.03	57	188.10	1 593.79
18	190.05	1 577.44	58	188.05	1 594.22
19	190.00	1 577.86	59	188.00	1 594.64
20	189.95	1 578.27	60	187.95	1 595.06
21	189.90	1 578.69	61	187.90	1 595.49
22	189.85	1 579.10	62	187.85	1 595.91
23	189.80	1 579.52	63	187.80	1 596.34
24	189.75	1 579.93	64	187.75	1 596.76
25	189.70	1 580.35	65	187.70	1 597.19
26	189.65	1 580.77	66	187.65	1 597.62
27	189.60	1 581.18	67	187.60	1 598.04
28	189.55	1 581.60	68	187.55	1 598.47
29	189.50	1 582.02	69	187.50	1 598.89
30	189.45	1 582.44	70	187.45	1 599.32
31	189.40	1 582.85	71	187.40	1 599.75
32	189.35	1 583.27	72	187.35	1 600.17



表 2 (续)

L 波段 编号	间隔 50GHz 的 标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)	L 波段 编号	间隔 50GHz 的 标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)
33	189.30	1 583.69	73	187.30	1 600.60
34	189.25	1 584.11	74	187.25	1 601.03
35	189.20	1 584.53	75	187.20	1 601.46
36	189.15	1 584.95	76	187.15	1 601.88
37	189.10	1 585.36	77	187.10	1 602.31
38	189.05	1 585.78	78	187.05	1 602.74
39	189.00	1 586.20	79	187.00	1 603.17
40	188.95	1 586.62	80	186.95	1 603.57

#### 4.5 80 通路 (100GHz 间隔) WDM 系统通路分配 (仅适用于长距离传输)

基于 C+L 波段 80 通路的 WDM 系统, 用于超过 1 500km 长距离传输时, 可以分别采用 C 波段的 40 个波长和 L 波段的 40 个波长, 波段内的波长间隔为 100GHz。

C 波段 40 个波长为 191.80~196.05THz, 波长间隔为 100GHz; L 波段 40 个波长为 186.95~190.90THz, 波长间隔为 100GHz。

#### 4.6 中心频率偏移

中心频率偏移定义为标称中心频率与实际中心频率之差。

160 和 80 通路 WDM 系统的通道间隔最小为 50GHz, 最大中心频率偏移为 $\pm 5$ GHz (约为 0.04nm), 该值为寿命终了值, 即在系统设计寿命终了时, 考虑到温度、湿度等各种因素仍能满足的数值。

### 5 波分复用器件的基本要求

波分复用器件是波分复用系统的重要组成部分, 为了确保波分复用系统的性能, 对波分复用器件提出了基本要求, 主要是插入损耗小、隔离度大、带内平坦、带外插入损耗变化陡峭、温度稳定性好、复用通路数多以及尺寸小等。

C/L 波段内 80 波的可以通过梳状滤波器将两个基础波长间隔为 100GHz 40 波复用器交织复用构成, 也可以直接采用 50GHz 复用器件构成。

实际应用的 1.6Tbit/s 系统 C 波段和 L 波段是完全分开的, 其中 C/L 波段各具有 80 个波长。160 波系统再通过波分复用器或耦合器将两个波段 80 波复用起来, 其中 C/L 两个波段各自 80 波。

下面首先以采用间隔 100GHz 的基本单位复用器和 50GHz/100GHz 梳状滤波器为例, 介绍 160 波构成方案。

1.6Tbit/s 光传输系统中的波长间隔是 50GHz, 而传统光复用器/解复用器都是 100GHz, 要实现 50GHz 间隔波长复用, 可以采用梳状滤波器。梳状滤波器是一个三端子器件, 两个输入端是两路波长间隔均为 100GHz 的  $N$  波群路信号, 输出端则为波长间隔为 50GHz 的  $2N$  波信号。梳状滤波器像梳子一样将两个群路信号复用/解复用。图 1 所示的为 160 波的复用和放大框图。

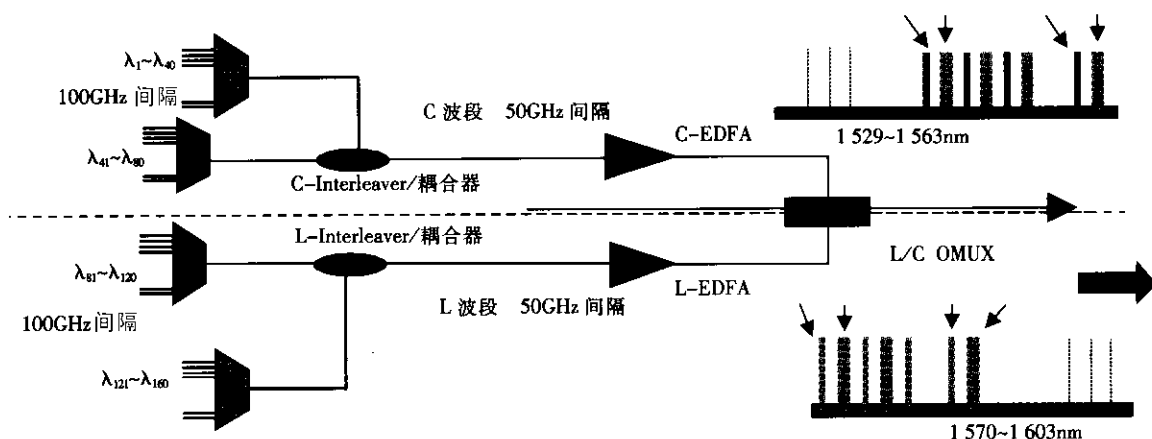


图 1 160 波复用和放大示意 (采用梳状滤波器方案)

如上图所示, 采用梳状滤波器方案, 要完成 C 波段 80 波的复用, 需要两个 C 波段复用器 (其中两个波段波长间距为 50GHz) 和 1 个梳状滤波器。160 波的复用则需要两个 C 波段复用器 (其中波长间隔为 50GHz)、1 个 C 波段梳状滤波器、两个 L 波段复用器 (其中波长间距为 50GHz)、1 个 L 波段梳状滤波器以及 1 个 C/L 滤波器。

160/80 波复用也可以直接由间隔为 50GHz 的复用器件来完成。图 2 所示的是由 80 波复用器直接构成来完成的 160 波复用。

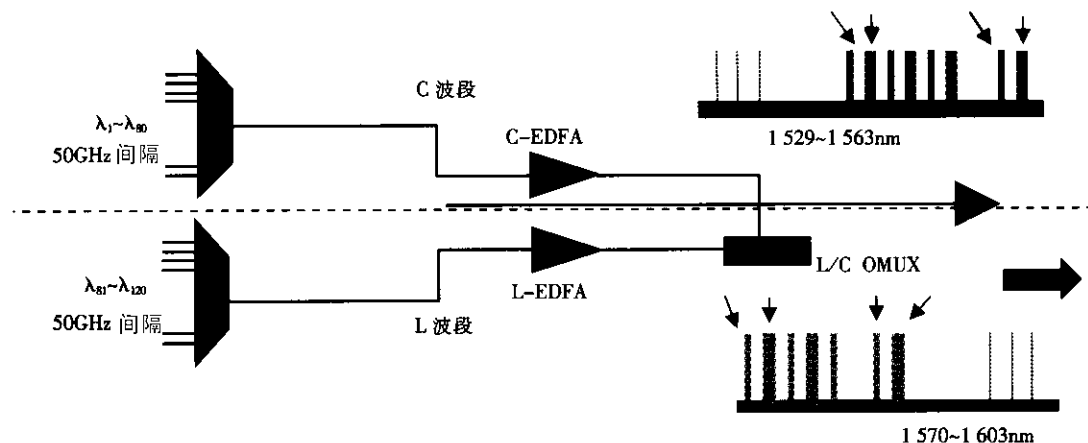


图 2 160 波复用和放大示意 (80 波直接复用方案)

本章所定义的基本分波器/合波器均为 40/80 波, 只是其覆盖的波长不同。

80/160 波解复用为此过程的逆过程。

### 5.1 波分复用器件的参数

#### 5.1.1 插入损耗

插入损耗 ( $I_L$ ) 指的是无源器件的输入和输出端口之间的光功率之比, 单位是分贝, 定义如下:

$$I_L = -10 \lg (P_1/P_0)$$

其中,  $P_0$  指的是发送到输入端口的光功率,  $P_1$  指的是从输出端口接收到的光功率。

#### 5.1.2 回波损耗

回波损耗 ( $R_L$ ) 指的是从无源器件的输入端口返回的光功率与输入光功率的比例, 定义如下:

$$R_L = -10\lg (P_r/P_i)$$

其中,  $P_i$  是发送到输入端口的光功率,  $P_r$  指的是从同一个输入端口接收到的返回的光功率。

### 5.1.3 反射系数

反射系数 ( $R$ ) 指的是对于给定条件的谱组成、偏振和几何分布, 在 WDM 器件的给定端口的反射光功率  $P_r$  与入射光功率  $P_i$  之比, 通常用 dB 表示:

$$R = 10\lg (P_r/P_i)$$

### 5.1.4 工作波长范围

规定的  $\lambda_{\min} \sim \lambda_{\max}$  范围内的波长是标称工作波长。在这个波长范围内, WDM 器件应能按照规定的性能工作。

### 5.1.5 偏振相关损耗 (PDL)

偏振相关损耗指的是对于所有的偏振态, 由于偏振态的变化而造成的插入损耗的最大变化值。

### 5.1.6 相邻通路隔离度

WDM 器件可以将来自一个输入端口的  $n$  个波长 ( $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ ) 信号分离后送到  $n$  个输出端口, 每个端口对应一个特定的标称波长  $\lambda_j$  ( $j=1 \dots n$ )。远端串音由以下公式定义:

$$FC_j (\lambda_i) = -10\lg [P_j (\lambda_i) / P_i (\lambda_i)] \quad i, j=1 \dots, n, \text{ 且 } j \neq i$$

其中,  $P_j (\lambda_i)$  是从第  $j$  个端口发出的波长为  $\lambda_i$  的信号的光功率,  $P_i (\lambda_i)$  是从第  $i$  个端口发出的波长为  $\lambda_i$  的信号的光功率。

## 5.2 合波器 (OMU)

WDM 系统的合波器可以采用各种技术来实现, 目前常用的 40 通路合波器有集成光波导型和介质薄膜滤波器型。C/L 波段 40 波/80 波合波器参数应分别满足表 3 和表 4 的要求。

表 3 40 波合波器参数要求

项 目	单 位	40 通路指标
插入损耗	dB	<12
光反射系数	dB	>40
工作波长范围	nm	1 529~1 563/1 570~1 603 <sup>注</sup>
偏振相关损耗	dB	<0.5
相邻通路隔离度	dB	>22
非相邻通路隔离度	dB	>25
各通路插损的最大差异	dB	<3
器件 PMD	ps	<0.5
注: 1 529~1 563nm 对应 C 波段合波器, 1 570~1 603nm 对应 L 波段合波器		

表 4 80 波合波器参数要求

项 目	单 位	80 通路指标
插入损耗	dB	<14
光反射系数	dB	>40
工作波长范围	nm	1 529~1 563/1 570~1 603 <sup>注</sup>
偏振相关损耗	dB	<0.5
相邻通路隔离度	dB	>22
非相邻通路隔离度	dB	>25
各通路插损的最大差异	dB	<3
器件 PMD	ps	<0.5
注：1 529~1 563nm 对应 C 波段合波器，1 570~1 603nm 对应 L 波段合波器		

### 5.3 分波器 (ODU)

WDM 系统的分波器可以采用各种技术来实现，目前常用的 40 通路 WDM 系统分波器有光纤布喇格光栅型、介质薄膜滤波器型和集成光波导型，40 波/80 波分波器的相关参数应满足表 5 和表 6 的要求。

表 5 WDM 系统 40 波分波器参数要求 (间隔 100GHz)

项 目	单 位	40 通路指标
通路间隔	GHz	100
插入损耗	dB	<10
光反射系数	dB	40
相邻通路隔离度	dB	>22
非相邻通路隔离度	dB	>25
偏振相关损耗	dB	0.5
各通路插损的最大差异	dB	< 2
温度特性	nm/°C	*
-1dB 带宽	nm	>0.2
-20dB 带宽	nm	<1.2
器件 PMD	ps	<0.5
*: 待研究		

表 6 WDM 系统 80 波分波器参数要求 (间隔 50GHz)

项 目	单 位	80 通路指标
通路间隔	GHz	100
插入损耗	dB	<12
光反射系数	dB	40
相邻通路隔离度	dB	>22
非相邻通路隔离度	dB	>25
偏振相关损耗	dB	0.5
各通路插损的最大差异	dB	< 2
温度特性	nm/°C	*
-1dB 带宽	nm	>0.2
-20dB 带宽	nm	<0.6
器件 PMD	ps	<0.5
*: 待研究		

#### 5.4 50GHz/100GHz 梳状滤波器

对于采用梳状滤波器实现 50GHz 间隔复用的系统, 50GHz/100GHz 梳状滤波器应满足表 7 的要求。

表 7 50GHz/100GHz 梳状滤波器参数要求

项 目	单 位	指 标
C 波段波长范围	nm	1 529~1 563
L 波段波长范围	nm	1 570~1 603
输入光功率范围	dBm	<+23dBm
输入信号波长间隔	GHz	100
输出信号波长间隔	GHz	50
插入损耗	dB	<2
光回损	dB	40
相邻通路隔离度	dB	>25
非相邻通路隔离度	dB	>25
方向性	dB	>55
偏振相关损耗	dB	0.5
各通路插损的最大差异	dB	< 1
PMD	Ps	<0.5
-1dB 带宽	nm	>0.1
-20dB 带宽	nm	*
器件 PMD	ps	<0.5
*: 待研究		

## 5.5 C/L 滤波器

C/L 两个波段复用/解复用是通过波分复用器或耦合器来实现的。一般多采用多介质膜干涉滤波器，通过多层介质膜把 C/L 频段信号反射出来，达到复用/解复用的目的。C/L 滤波器的参数应满足表 8 的要求。

表 8 C/L 滤波器参数要求

项 目	单 位	指 标
C 波段波长范围	nm	1 529~1 563
L 波段波长范围	nm	1 570~1 603
C 波段插入损耗	dB	<1.5
L 波段插入损耗	dB	<1.5
光回损	dB	>40
隔离度	dB	10/15*
方向性	dB	>55
偏振相关损耗	dB	0.5
器件 PMD	ps	<0.5
*：分别对应于透射型和反射型		

## 6 光放大器

光放大器在 WDM 系统中的应用主要有 3 种形式。在发送端，光放大器可用于光发送端机之后，作为系统的功率放大器 (Booster Amplifier, BA)，用于提高系统的发送光功率。在接收端，光放大器可用在光接收端机之前，作为系统的预放大器 (Pre-amplifier, PA)，用于提高信号的接收灵敏度。光放大器作为线路放大器时，可用在无源光纤段之间，以补充光纤损耗、延长中继长度，称为线路光放大器 (Line Amplifier, LA)。

### 6.1 光放大器参数定义

参见 YDN 120—1999《光波分复用系统总体技术要求 (暂行规定)》相应的章节。

### 6.2 光放大器的参数要求

本标准规定的 EDFA 光放大器分别覆盖 C 波段或 L 波段，也就是一个 EDFA 放大模块覆盖一个波段 (C/L)。对于单个放大器覆盖 C+L 波段的系统待研究，下面所规定的参数分别适用于 C 或 L 波段的 EDFA 光放大器。

由于在 160 波和 80 波 (50GHz 间隔) 系统中，C 或 L 波段光放大器并没有变化，因此对于 80 波、160 波 WDM 系统 (50GHz 间隔系统)，C 或 L 波段的光放大器有着相同的要求。

光放大器是 WDM 系统的一种重要器件，对于不同应用代码有不同参数要求，本标准规定了光放大器在不同应用代码下的性能参数要求。

由于跨段设计中，本标准只定义了 22dB 和 30dB 两种跨距，因此本节只规定了增益为 22dB 和 30dB 两种光放大器，具体要求与其级联光放大器数目无关。

#### 6.2.1 光功率放大器要求

光功率放大器参数要求见表 9。

表 9 光功率放大器性能参数 (C/L 波段) 要求

项 目	单 位	80 通路系统指标	
		<i>N</i> ×22dB	<i>M</i> ×30dB
通路分配	nm	*	*
总输入功率范围	dBm	*	*
噪声系数	dB	<7	<7
通路输入功率范围	dBm	*	*
通路输出功率范围	dBm	*	*
输入反射系数	dB	>40	>40
输出反射系数	dB	>40	>40
泵浦在输入的泄漏	dB	*	*
输入可容忍的最大反射系数	dB	*	*
输出可容忍的最大反射系数	dB	*	*
最大总输出功率	dBm	+23	+23
通路增加/移去的增益响应 (稳态)	ms	<10	<10
通路增益	dB	22~25	30~35
增益平坦度	dB	±1	±1
多通路增益斜度	dB/dB	<2	<2
偏振模式色散	ps	<0.5	<0.5
偏振相关损耗	dB	0.5	0.5
<i>M/N</i> : 光放大段的级联数目			
*: 待研究			

6.2.2 光线路放大器要求

光线路放大器的参数要求见表 10。

表 10 光线路放大器性能参数 (80 通路) 要求

项 目	单 位	80 通路系统指标	
		<i>N</i> ×22dB	<i>M</i> ×30dB
通路分配	nm	*	*
总输入功率范围	dBm	*	*
噪声系数	dB	<6/6.5 (1)	<6/6.5*
通路输入功率范围	dBm	*	*
通路输出功率范围	dBm	*	*
输入反射系数	dB	>40	>40
输出反射系数	dB	>40	>40

表 10 (续)

项 目	单 位	80 通路系统指标	
		$N \times 22\text{dB}$	$M \times 30\text{dB}$
泵浦在输入的泄漏	dB	*	*
输入可容忍的最大反射系数	dB	*	*
输出可容忍的最大反射系数	dB	*	*
最大总输出功率	dBm	+23	+23
通路增加/移去增益响应时间(稳态)	ms	<10	<10
通路增益	dB	22~25	30~35
增益平坦度	dB	$\pm 1$	$\pm 1$
增益斜度	dB/dB	<2	<2
偏振模式色散	ps	<0.5	<0.5
偏振相关损耗	dB	<0.5	<0.5
a: C 波段噪声系数为 6dB, L 波段噪声系数为 6.5dB。 M/N: 光放大段的级联数目。 *: 待研究。			

### 6.2.3 光前置放大器要求

光前置放大器的参数要求见表 11。

表 11 光前置放大器性能参数(80 通路)要求

项 目	单 位	80 通路系统指标	
		$N \times 22\text{dB}$	$M \times 30\text{dB}$
通路分配	nm	*	*
总输入功率范围	dBm	*	*
噪声系数	dB	<5.5	<5.5
通路输入功率范围	dBm	*	*
通路输出功率范围	dBm	*	*
输入反射系数	dB	>40	>40
输出反射系数	dB	>40	>40
泵浦在输入的泄漏	dB	*	*
输入可容忍的最大反射系数	dB	*	*
输出可容忍的最大反射系数	dB	*	*
最大总输出功率	dBm	+18	+18
通路增加/移去增益响应时间(稳态)	ms	<10	<10
通路增益	dB	22~25	30~35



表 11 (续)

项 目	单 位	80 通路系统指标	
		$N \times 22\text{dB}$	$M \times 30\text{dB}$
增益平坦度	dB	$\pm 1$	$\pm 1$
增益斜度	dB/dB	$< 2$	$< 2$
偏振模式色散	ps	$< 0.5$	$< 0.5$
偏振相关损耗	dB	$< 0.5$	$< 0.5$
M/N: 光放大段的级联数目。			
*: 待研究。			

### 6.3 安全要求

对于 80×10Gbit/s 和 160 波 WDM 系统，合路信号入纤最大光功率电平不超过+23dBm。

光放大器必须有明显的安全标志，以确保人身安全。当光纤断开时，应具有泵浦源自动关闭功能或将 EDFA 输出功率降低到安全功率以内。

在应用喇曼放大器的系统中，为了实现光纤非线性效应，喇曼泵浦源输出功率必须很高，喇曼泵浦源的总输出功率必须 $< +29\text{dBm}$  (800mW)。

不能让喇曼放大器的泵浦源功率输出裸露在空间，当光纤切断时，系统应具有喇曼泵浦源自动关断功能，以防止对人体造成伤害。

### 6.4 喇曼放大器要求

对于采用 RAMAN+EDFA 放大器的系统，喇曼光放大器是分布式放大，采用后向泵浦，两个波段的泵浦源是一种并联关系，光纤线路是公用的，每个泵浦源放大对应的频段内的波长信号。如图 3 所示。

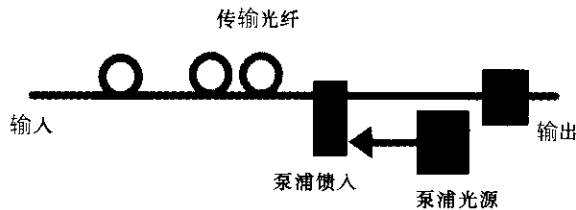


图 3 喇曼放大器的后向泵浦和分布式放大

喇曼放大器的基本原理是受激喇曼散射效应，其表现形式是不同频带的光功率转移，也就是短波长光能量将转移到长波长信号。效率最高能量转移发生在波长差距 100nm 左右，即 1 450nm 泵浦源在 1 550nm 产生的增益最高，要放大 C+L 波段 1 529~1 603nm 的工作波长，最佳泵浦源波长在 1 420~1 520nm 波段。

本标准定义的喇曼光放大器采用光纤线路作为工作媒质。从实现喇曼放大的方式来看，它不像 EDFA 一样需要专门用一段掺饵光纤进行放大，它可以采用传输线路光纤作工作媒质。在采用喇曼放大器的 WDM 系统中，只需要泵浦源，而不再需要特殊的工作媒质。

对于工作在放大区域的每个波长，其分布式喇曼放大器等效噪声系数 $< 1.5\text{dB}$ 。喇曼光放大器的开关增益应 $> 10\text{dB}$ 。

喇曼增益与偏振相关，为了克服偏振效应，必须采取措施保证信号的喇曼增益与偏振无关。

### 6.5 EDFA+喇曼光放大器技术要求

对于采用喇曼放大器的 1.6Tbit/s 系统，其光接口参数有  $N \times 22\text{dB}$  (长距离间隔)、 $M \times 30\text{dB}$  (甚长距离

间隔) 两种。

采用喇曼放大器 800Gbit/s 和 1.6Tb/s 系统, 由于喇曼放大器有一定的增益, 线路损耗由 EDFA 和喇曼光放大器共同承担, 其效果等效于两级光放大器 (EDFA+RAMAN) 串联, 由于后一级喇曼放大器具有较小的噪声系统, 其等效噪声系数相应减少。

由于 C 波段和 L 波段是分离的, 因此 EDFA+喇曼光放大器技术要求也是对 C、L 波段分别要求 (但其参数相同), 具体要求见表 12。

表 12 EDFA+喇曼光线路放大器性能参数 (C/L 波段) 要求

项 目	单 位	80 通路系统指标	
		$N \times 22\text{dB}$	$M \times 30\text{dB}$
通路分配	nm	*	*
总输入功率范围	dBm	*	*
等效噪声系数	dB	<3.5	<3
通路输入功率范围	dBm	*	*
通路输出功率范围	dBm	*	*
输入反射系数	dB	>40	>40
输出反射系数	dB	>40	>40
泵浦在输入的泄漏	dB	*	*
输入可容忍的最大反射系数	dB	*	*
输出可容忍的最大反射系数	dB	*	*
输入总输出功率	dBm	+23	+23
通路增加/移去增益响应时间 (稳态)	ms	<10	<10
通路增益	dB	20~25	30~35
增益平坦度	dB	$\pm 1$	$\pm 1$
增益斜度	dB/dB	<2	<2
偏振模式色散	ps	<0.5	<0.5
偏振相关损耗	dB	<0.5	<0.5
*: 待研究			

## 6.6 可靠性要求

光放大器光器件 (EDFA+喇曼放大器泵浦源) 寿命应不小于 30 万 h。

## 6.7 光放大器自动增益控制要求

对 80/160 路 WDM 系统, 当逐路增加承载的通路数量时, 不应影响其它通路的性能; 当同时增加多个通路时, 系统也应不受影响。当运行中增加或减少承载的通路数量时, 系统的各项参数应可以进行自动调整, 不需要进行其它任何硬件或软件的改动。在极限情况下, 对于  $N$  路 WDM 系统, 如同时失去  $N-1$  个通路, 剩余通路应在 10ms 内恢复正常, 无误码工作。

系统设计中, 光放大器 (包括 EDFA+喇曼放大器) 增益/增益平坦度应该考虑在单个喇曼泵浦源失效时, 通过调节 EDFA 增益, 系统可以保持无误码正常工作。

对于光放大器（包括 EDFA+喇曼放大器）增益的调整，可以基于单个光放大器或整个光复用段进行，单个光放大器的增益调整时间<50ms，整个光复用段全部光信号调整完成时间应<60s，包括各个波长的发送功率、预均衡和全部光放大器的增益调整时间。

7 光接口分类

7.1 有线路光放大器系统

7.1.1 有线路光放大器系统的参考配置

图 4 是一般 WDM 系统的配置，Tx1, Tx2..., TxN 通常是 10Gb/s 系统的终端发送机。在发送端，采用波分复用器（合波器）将不同规定波长的信号光载波合并起来并送入一根光纤中进行传输。在接收端，再由一波分复用器（分波器）将这些不同波长所承载的不同信号的光载波分开。由于不同波长的光载波信号可以看成是互相独立（不考虑光纤非线性时）的，因而只需将两个方向的信号分别安排在不同波长传输，即使只有一根光纤也可实现双向传输。单纤双向系统不在本标准之内。

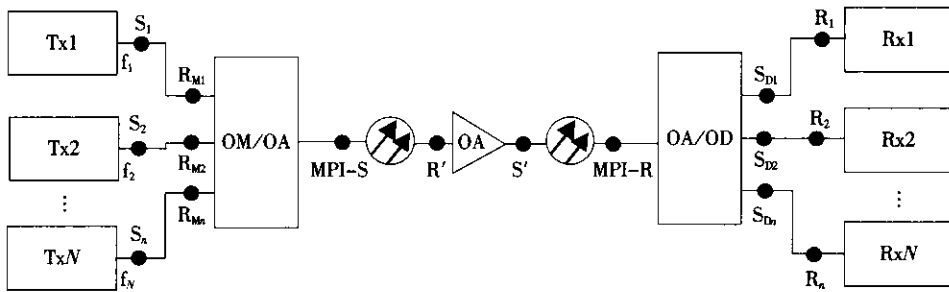


图 4 有线路光放大器系统的参考配置

上图所示的 WDM 系统具有下列参考点。

- S<sub>1</sub>...S<sub>n</sub>: 通路 1...n 在发射机光输出连接器处光纤上的参考点；
- R<sub>m1</sub>...R<sub>mn</sub>: 通路 1...n 在 OM/OA 的光输入连接器处光纤上的参考点；
- MPI-S: OM/OA 的光输出连接器之后光纤上的参考点；
- S': 线路光放大器的光输出连接器之后光纤上的参考点；
- R': 线路光放大器的光输入连接器之前光纤上的参考点；
- MPI-R: OA/OD 的光输入连接器之前光纤上的参考点；
- S<sub>D1</sub>...S<sub>Dn</sub>: OA/OD 的光输出连接器处的参考点；
- R<sub>1</sub>...R<sub>n</sub>: 接收机光输入连接器处的参考点。

7.2 系统分类和应用代码

现在应用的 800Gbit/s 和 1.6Tbit/s WDM 系统都是用于长途传输，不考虑两点之间的无线路光放大器的 WDM 系统。

由于喇曼光放大器在 WDM 系统的应用和超强 FEC 的应用，因此系统的分类和应用代码都有所增加。可以把长途光纤传输系统分为常规 LH (Long Haul) 长距离传输系统、亚超长传输系统 ELH (Enhanced Long Haul) 和超长传输系统 ULH (Ultra-Long Haul)。传输距离<1 000km 的 WDM 系统称为常规长距离传输系统，传输距离在 1 000~2 000km 的 WDM 系统称为亚超长传输系统 (ELH)，传输距离>2 000km 的 WDM 系统称为超长传输距离系统 (ULH)。

亚超长传输系统又可以分为波长间隔 100GHz 的系统和波长间隔为 50GHz 的系统。为了尽可能达到更远的传输距离，对于亚超长距离传输 WDM 系统，允许进行波长间隔 100GHz 的传输。

800Gbit/s 和 1.6Tbit/s 的系统分类如下：

- 没有喇曼放大器，只有常规带外 FEC 的 80/160 波 WDM 系统 (50GHz 间隔)；
- 具有常规 FEC、喇曼光放大器的 80/160 波 WDM 系统 (50GHz 间隔)；

具有常规 FEC、喇曼光放大器的 80 波 WDM 系统 (100GHz 间隔);  
 具有超强 FEC、喇曼光放大器 80/160 波 WDM 系统 (50GHz 间隔);  
 具有超强 FEC、喇曼光放大器 80 波 WDM 系统 (100GHz 间隔)。

下面的应用代码应满足中间至少包括 1 个 OADM 节点进行上下波长的情况。

#### 7.2.1 没有喇曼放大器, 只有常规带外 FEC 的 80/160 波 WDM 系统 (50GHz 间隔)

160/80 波 WDM 系统定义了两种光接口, 分别为 8×22dB 和 3×30dB, 具体见表 13。

表 13 G.652/G.655 光纤有线路放大器线路系统的应用代码

应用	长距离间隔 (每个间隔的目标距离为 80km)	甚长距离间隔 (每个间隔的目标距离为 100km)
Span 数目	8	3
80 波长	80L8-64.2/5	80V'3-64.2/5
160 波长	160L8-64.2/5	160V'3-64.2/5
注: 目标距离仅用来分类而非指标		

#### 7.2.2 具有常规 FEC、喇曼光放大器的 80/160 波 WDM 系统 (50GHz 间隔)

间隔为 50GHz 的 80/160 波的 WDM 系统定义了两种光接口, 分别为 14×22dB 和 6×30dB, 具体见表 14。

表 14 G.652 光纤有线路放大器线路系统的应用代码

应用	长距离间隔 (每个间隔的目标距离为 80km)	甚长距离间隔 (每个间隔的目标距离为 100km)
Span 数目	14	6
80 波长	80L14-64.2	80V'6-64.2
160 波长	160L14-64.2	160V'6-64.2

#### 7.2.3 具有常规 FEC、喇曼光放大器的 80 波 WDM 系统 (100GHz 间隔)

间隔为 100GHz 的 80 波的 WDM 系统定义了两种光接口, 分别为 20×22dB 和 8×30dB, 具体见表 15。

表 15 G.652 光纤有线路放大器线路系统的应用代码

应用	长距离间隔 (每个间隔的目标距离为 80km)	甚长距离间隔 (每个间隔的目标距离为 100km)
Span 数目	20	8
80 波长	80L20-64.2	80V'6-64.2

#### 7.2.4 具有超强 FEC、喇曼光放大器的 80/160 波 WDM 系统 (50GHz 间隔)

间隔为 50GHz 的 80/160 波的 WDM 系统定义了两种光接口, 分别为 18×22dB 和 7×30dB, 具体见表 16。

表 16 G.652 光纤有线路放大器线路系统的应用代码

应用	长距离间隔 (每个间隔的目标距离为 80km)	甚长距离间隔 (每个间隔的目标距离为 100km)
Span 数目	18	7
80 波长	80L18-64.2	80V'7-64.2
160 波长	160L18-64.2	160V'7-64.2

7.2.5 具有超强 FEC、喇曼光放大器的 80 波 WDM 系统 (100GHz 间隔)

间隔为 50GHz 的 80/160 波的 WDM 系统定义了两种光接口，分别为 25×22dB 和 9×30dB，具体见表 17。

表 17 G.652 光纤有线路放大器线路系统的应用代码

应用	长距离间隔 (每个间隔的目标距离为 80km)	甚长距离间隔 (每个间隔的目标距离为 100km)
Span 数目	25	9
80 波长	80L25-64.2	80V'9-64.2

8 WDM 系统光接口参数的定义及要求

8.1 光接口参数的要求

表 18 分别给出了适用于点到点 WDM 系统的参数的规范。规范的目标是为将来提供不同系统间的横向兼容性，目前则只能达到部分横向兼容的目的。

表 18 中的光信噪比 (OSNR) 的要求为系统寿命开始时值，其它值均为寿命终了值，即在系统设计寿命终了并处于所允许的最坏工作条件下，仍然能满足的数值。

8.1.1 应用在 80、160 通路 WDM 系统中的  $S_1-S_n$  和  $R_1-R_n$  接口

表 18 应用在 80/160 通路 WDM 系统中的  $S_1-S_n$  和  $R_1-R_n$  接口 (暂定)

	单位	数值
单个发送机输出 $S_1-S_n$ <sup>(1)</sup>		
标称光源类型		*
线路码型		NRZ
光谱特性		
• 最大-20dB 谱宽		0.3
• 最小边模抑制比	nm	35
中心频率		
• 标称中心频率	THz	(187.0~196.1)
• 最大中心频率偏移	GHz	±5
通路间隔	GHz	50/100
平均发送功率		

表 18 (续)

	单 位	数 值
• 最大	dBm	-1
• 最小	dBm	-5
最小消光比	dB	+10
眼图模板		符合 G.691 建议眼图模板
光通道 ( $S_n-R_n$ 参考点之间)		
光通道代价 <sup>(2)</sup>	dB	2
单个接收机输入 ( $R_1..R_n$ 参考点)		
接收机类型		PIN 或 APD
接收机最大过载	dBm	0 (PIN) 或 -9 (APD)
接收机反射	dB	-27
光信噪比 (无 FEC 系统)	dB	25
光信噪比 (带内 FEC 系统)	dB	23.5
光信噪比 (带外 FEC 系统) <sup>(3)</sup>	dB	20 (18)
接收机最差灵敏度 (BER=1.0E-12) <sup>(4)</sup>	dBm	-14 (PIN) 或 -21 (APD)
• 最大接收波长	nm	>1 625
• 最小接收波长	nm	<1 310
*: 待研究		
注: (1) 光缆在 $S_1..S_n$ 参考点的回波损耗 (含有任何活接头) 为 24dB。		
(2) 光通道代价是指经过 DCF 补偿后的光通道。		
(3) 对于采用常规带外 FEC 的 WDM 系统, 光接口光信噪比为 20dB; 对于采用超强带外 FEC 的 WDM 系统, 光接口光信噪比为 18dB。		
(4) 运营商根据需要选取接收机灵敏度。		

### 8.1.2 80/160 通路 WDM 系统主光通道参数

表 19 规定了单纤单向的 80/160 波主光通道参数, 所有参数均是在采用 PDC 色散光纤补偿技术条件下的系统参数。对于其具体 DCM 模块的配置暂不做规定。DCM 模块一般放置在线路放大器的两级泵浦源之间。

对于 G.655 光纤和 G.652 光纤, 其色散补偿特性不同, 具体要求待规定。表 20 的 G.655 光纤包括真波 TRUE-WAVE、Teralight、LEAF 光纤和其它符合 ITU-T G.655 规范的光纤。

下列表中所列出的线路衰减范围指纯粹的线路损耗, 不包括 DCM 模块带来的损耗。

表中定义的 80 通路参数不仅适用于 C 或 L 波段间隔 50GHz 80 波系统, 也适用于间隔 100GHz、跨越 C 和 L 波段的 80 波系统。

表 19 80/160 通路单纤单向 WDM 系统主光通道参数 (暂定) G.652 光纤

	单 位	$N^{(1)} \times 22\text{dB}$	$N \times 22\text{dB}$	$N \times 30\text{dB}$	$N \times 30\text{dB}$
通路数		80	160	80	160
比特速率/通路的格式		STM-64	STM-64	STM-64	STM-64
MPI-S 和 S' 点的光接口					
光发送端串音	dB	*	*	*	*
每通路输出功率					
平均功率	dBm	+4.0	+1.0	+4.0	+1.0
• 最大	dBm	+6.0	+4.0	+6.0	+3.0
• 最小	dBm	+2.0	+0.0	+3.0	+0.0
最大总发送功率	dBm	+23	+23	+23	+23
MPI-S 点每通路信噪比	dB	>35	>35	>35	>35
MPI-S 点的最大通路功率差	dB	4	4	3	3
光通道 (MPI-S-MPI-R)					
光通道代价	dB	2	2	2	2
衰减范围					
• 最大	dB	24	24	30	30
• 最小	dB	22	22	28	28
色散	ps/nm	$1\ 600 \times N$	$1\ 600 \times N$	$2\ 000 \times N$	$2\ 000 \times N$
反射	dB	-27	-27	-27	-27
最大 DGD <sup>(2)</sup>	ps	30	30	30	30
最小回损	dB	24	24	24	24
最大线路色散值 (补偿后)	ps/nm	1 000	1 000	1 000	1 000
MPI-R 和 R' 点的光接口					
平均每通路的输入功率					
• 最大	dBm	-16	-18	-22	-25
• 最小	dBm	-22	-24	-27	-30
最大平均总输入功率	dBm	+1	+1	-5	-5
MPI-R 点每通路最小光信噪比 <sup>(3)</sup>	dB	20 (18)	20 (18)	20 (18)	20 (18)
光信号串音	dB	*	*	*	*
MPI-R 点的最大通路功率差	dB	6	6	5	5
* : 待研究					
注:					
(1) $N$ 为光放大段的数目。					
(2) 对于 $N \times 22\text{dB}$ 、 $N \times 30\text{dB}$ 光接口指标的应用, 光缆偏振模色散 PMD 应 $< 0.4\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ ; 对于应用距离在 $1\ 000\text{km}$ ( $12 \times 22\text{dB}$ ) 以上的应用, 由于定义的系统不采用 PMD 补偿措施, 建议光缆偏振模色散 PMD 应 $< 0.2\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 。					
(3) 对于采用常规带外 FEC 的 WDM 系统, 光接口光信噪比为 $20\text{dB}$ ; 对于采用超强带外 FEC 的 WDM 系统, 光接口光信噪比为 $18\text{dB}$ 。					

表 20 80/160 通路单纤单向 WDM 系统主光通道参数 (暂定) G.655 光纤

	单 位	$N^{(1)} \times 22\text{dB}$	$N \times 22\text{dB}$	$N \times 30\text{dB}$	$N \times 30\text{dB}$
通路数		80	160	80	160
比特速率/通路的格式		STM-64	STM-64	STM-64	STM-64
<b>MPI-S 和 S' 点的光接口</b>					
光发送端串音	dB	*	*	*	*
<b>每通路输出功率</b>					
平均功率	dBm	+4.0	+1.0	+4.0	+1.0
• 最大	dBm	+6.0	+4.0	+6.0	+3.0
• 最小	dBm	+2.0	+0.0	+3.0	+0.0
最大总发送功率	dBm	+23	+23	+20	+23
MPI-S 点每通路信噪比	dB	>35	>35	>35	>35
MPI-S 点的最大通路功率差	dB	4	4	3	3
<b>光通道 (MPI-S-MPI-R)</b>					
光通道代价	dB	2	2	2	2
<b>衰减范围</b>					
• 最大	dB	24	24	30	30
• 最小	dB	22	22	28	28
色散 <sup>(2)</sup>	ps/nm	$800 \times N$	$800 \times N$	$1000 \times N$	$1000 \times N$
反射	dB	-27	-27	-27	-27
最大 DGD <sup>(3)</sup>	ps	30	30	30	30
最小回损	dB	24	24	24	24
最大线路色散值 (补偿后)	ps/nm	1 000	1 000	1 000	1 000
<b>MPI-R 和 R' 点的光接口</b>					
<b>平均每通路的输入功率</b>					
• 最大	dBm	-16	-18	-22	-25
• 最小	dBm	-22	-24	-27	-30
最大平均总输入功率	dBm	+1	+1	-5	-5
MPI-R 点每通路最小光信噪比 <sup>(4)</sup>	dB	20 (18)	20 (18)	20 (18)	20 (18)
光信号串音	dB	*	*	*	*
MPI-R 点的最大通路功率差	dB	6	6	5	5
*：待研究					
注：					
(1) $N$ 为光放大段的数目。					
(2) 本表中的色散计算以 $10\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ 为例。					
(3) 对于 $N \times 22\text{dB}$ 、 $N \times 30\text{dB}$ 光接口指标的应用，光缆偏振模色散 PMD 应 $< 0.4\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ ；对于应用距离在 $1\,000\text{km}$ ( $12 \times 22\text{dB}$ ) 以上的应用，光缆偏振模色散 PMD 应 $< 0.2\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 。					
(4) 对于采用常规带外 FEC 的 WDM 系统，光接口光信噪比为 $20\text{dB}$ ；对于采用超强带外 FEC 的 WDM 系统，光接口光信噪比为 $18\text{dB}$ 。					



## 8.2 不中断业务光监测接口

在每一个 EDFA 光中继站和 WDM 系统终端站上，主光通道应有不中断业务监测接口（仪表可以接入），允许在不中断业务的情况下，对波分复用终端站和线路放大器中继站的主光通道进行实时监测。

在波分复用终端站和线路放大器中继站中，可以具有估算每个光通路的光功率和光信噪比的功能，并可将相应的数据送到网管系统中，在网管上可以查看相应的物理量。估算功率的精度应不低于 $\pm 1.5\text{dB}$ ，估算光信噪比的精度应不低于 $\pm 1.5\text{dB}$ 。

## 8.3 色度色散补偿

对于超长距离的传输，色散是一种主要线性补偿对象，一般都采用 DCF 色散补偿光纤技术。目前采用两个色散补偿模块分别补偿 C、L 波段信号。对于超过 1 000km 的传输，为了实现精确补偿，不排除采用多个色散斜率补偿模块对每个子波段进行补偿。

### 8.3.1 DCF 光纤要求

由于 G.652 光纤和 G.655 光纤在 1 550nm 窗口是正色散，因此 WDM 系统在此光纤上使用的色散补偿光纤主要为负色散的 DCM 模块，此模块在一段距离之后对于不同的波长给予不同的色散补偿；色散补偿模块一般用于发送端功放、线路光放和接收端预放的中间级（MSA），其补偿原则根据光功率预算的结果而定。

该光纤的特性要求见表 21，其指标适用于 1 529~1563nm，L 波段 1 570~1 603nm 色散光纤补偿模块参照执行。

表 21 DCF 参数要求

项 目	参 数	
	最大	最小
插入损耗 (dB) (等效 G.652 光纤补偿长度)		
20km	3.6	Na
40km	5.5	Na
60km	7.5	Na
80km	9.5	Na
100km	11.5	Na
120km	13.5	Na
色散光纤补偿窗口 (nm)	1 565	1 525
工作窗口色散 (ps/nm) (等效 G.652 光纤补偿长度)	最大	最小
20km	-310	-360
40km	-620	-710
60km	-930	-1 070
80km	-1 240	-1 420
100km	-1 550	-1 780
120km	-1 860	-2 140
损耗系数 (dB/km)	1.0	Na
光反射 (dB)	-27	Na
工作波长范围 (nm)	1 565	1 525
平均群时延 (ps/km)	0.5	Na
最大允许输入功率 (dBm)	Na	+20
偏振相关损耗 ( $\Delta\text{dB}$ )	0.5	ffs

注：（1）对一些色散补偿器，工作波长范围可以更窄，但必须覆盖光源工作波长范围。

（2）所有的等效光纤都是针对 G.652 光纤的，其它类型的光纤待研究。

### 8.3.2 色散斜率补偿

G.652/G.655 光纤都是有一定斜率的（其中 G.652 光纤 1 550nm 窗口色散斜率大约为  $0.06\sim 0.07\text{ps}/\text{nm}^2\cdot\text{km}$ ，LEAF 光纤 1 550nm 窗口斜率为  $0.09\text{ps}/\text{nm}^2\cdot\text{km}$ ）。由于 C/L 波段的频段宽度为 32nm，因此有可能在一个频段内造成比较大的色散差异。

要补偿这些斜率，DCF 光纤也要有相应的斜率分布。在 C/L 频带内，在一个光复用段内，补偿后剩余色散差别应  $<500\text{ps}/\text{nm}$ 。

具体色散补偿模块的色散补偿波长范围和色散斜率等参数待规定。

### 8.4 PMD 补偿

在现在系统中，目前可以考虑选择 PMD 值比较好的光纤进行传输，暂时不考虑采用 PMD 补偿。

## 9 波长转换器 (OTU) 的要求

### 9.1 OTU 功能

#### 9.1.1 OTU 基本功能

本标准规范的 OTU 均可实现 3R 功能，即有定时再生电路。没有定时再生电路、对速率透明的 OTU 不在本标准规定。

开放式 WDM 系统在发送端采用波长转换器 (OTU) 将非标准的波长转换为标准波长，OTU 具有符合 G.692 的标准接口，而 SDH 设备可继续使用符合 G.691/G.693 接口要求的设备。

图 5 是一个波长转换器，该器件的主要作用在于把非标准的波长转换为 ITU-T 所规范的标准波长，以满足系统的波长兼容性。目前已商用的产品使用的依然是光/电/光 (O/E/O) 的变换，即先用光电二极管 PIN 或 APD 把接收到的光信号转换为电信号，然后用该电信号对标准波长的激光器重新进行调制，从而得到新的合乎要求的光波长信号。

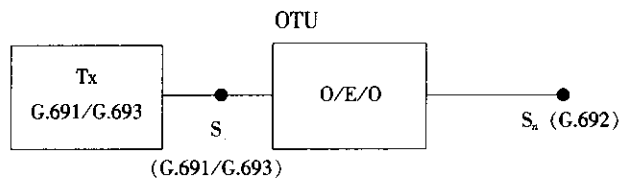


图 5 符合 G.691/G.693 的发射机与波长转换器 (OTU) 合并使用示意

在 S 点，符合 G.691/G.693 的 Tx 发送功率有时会超过 OTU 的输入过载功率，这时可以在 S 点插入固定衰减器。

OTU 的前端为符合 G.691/G.693 要求的 SDH 发送机接口 S，OTU 的输出端为符合 WDM 系统 G.692 要求的接口 S<sub>n</sub>。

在系统中采用的将是如图 6 所示的 O/E/O 的转换器，其输出信号将为符合 G.692 要求的标准波长。

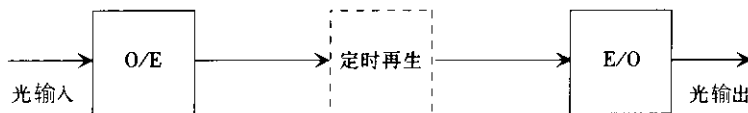


图 6 光/电/光转换器

#### 9.1.2 具备带外 FEC 功能的 OTU

带外 FEC 方案采用 G.975/G.709 规定的 R-S 编码方案或其它方案。采用 FEC 功能的 OTU 依然必须具有 B1、J0 字节的非介入监视功能，即 FEC 功能的实施不影响 OTU 对开销字节的监视。

具有带外 FEC 的发送端 OTU 如图 7 所示。发送端 OTU 将 FEC 开销增加到输入 SDH 信号帧结构中。当输入信号丢失时，应发出 FDI 前向失效指示信号。

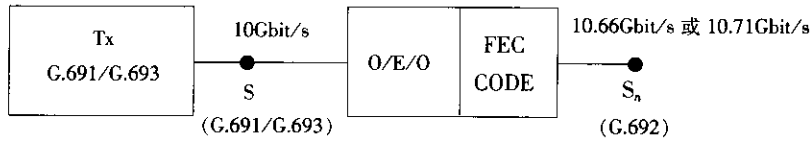


图 7 具有带外 FEC 的发送端 OTU 功能示意

具有带外 FEC 的接收端 OTU 如图 8 所示。接收端 OTU 将 SDH 信号从带 FEC 开销信号帧解出来，输出端为常规 SDH 帧结构信号。当检测到发端 OTU 发出的 FDI 信号时，能够发出告警，同时关闭输出功率或插入 AIS 告警。

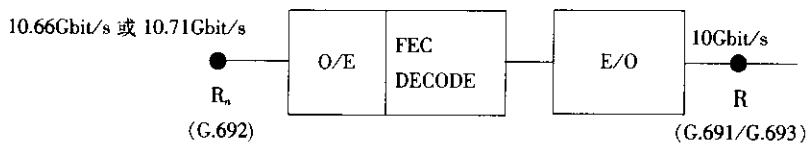


图 8 具有带外 FEC 的接收端 OTU 功能示意

### 9.1.3 具有超强 FEC 功能的 OTU

为了更大程度地提高功率预算，可以采用纠错能力更强的 FEC 技术，即采用更多冗余字节进行纠错。本节要求超强 FEC 的增益 > G.975/G.709 规定的 R-S 编码方法 2dB 以上，具体方式暂不做规定。

## 9.2 OTU 的位置

### 9.2.1 发送端的 OTU

发送端 OTU 位于具有 G.691/G.693 接口 SDH 设备之后，OTU 输出为标准波长、符合 G.692 输出特性的光信号。

当把符合 G.691/G.693 的发射机和波长转换器结合起来作为 G.692 光发射机时，参考点  $S_n$  位于波长转换器的输出光连接器之后，如图 9 所示。

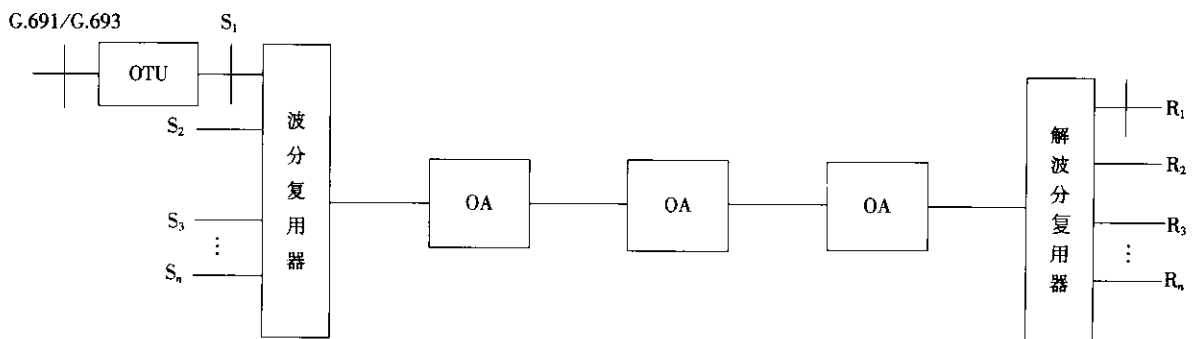


图 9 发送端 OTU 的应用

$S_2..S_n$  为符合 WDM 系统要求的 SDH 接口系统。

发送端 OTU 应具有对再生段开销字节 (B1、J0) 进行监视的功能。

OTU 可以对 FEC 功能的启动所带来的误码性能进行监视。

对于帧结构满足 G.709 接口的监测参数待规定。

### 9.2.2 作为再生中继器的 OTU

作为再生中继器的 OTU 除执行 3R 中继、完成光/电/光转换外，还需要具有对某些再生段开销字节

进行监视的功能，至少包括再生段误码监测 B1、J0 字节的监测。

OTU 可以对 FEC 功能的启动所带来的误码性能进行监视。

对于帧结构满足 G.709 接口的监测参数待规定。

有再生中继功能的 OTU 在系统中的应用如图 10 所示。

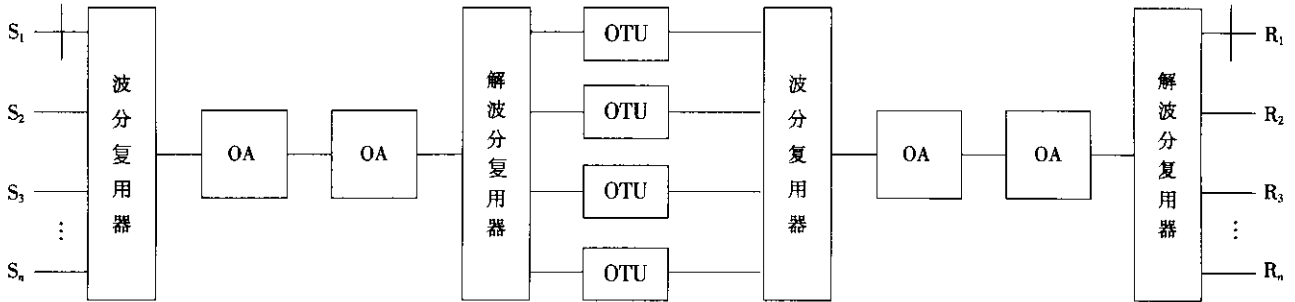


图 10 有再生中继功能的 OTU 的应用

$S_2 \dots S_n$  为符合 WDM 系统要求的 SDH 接口系统。

### 9.2.3 接收端的 OTU

接收端的 OTU 位于具有 G.691/G.693 接口 SDH 接收机之前，OTU 的输出为符合 G.692 输出特性的光信号。

当把符合 G.691/G.693 的接收机和波长转换器 OTU 结合起来作为光接收机时，G.691/G.693 接收机参考点位于波长转换器 OTU 的输出光连接器之后，如图 11 所示。

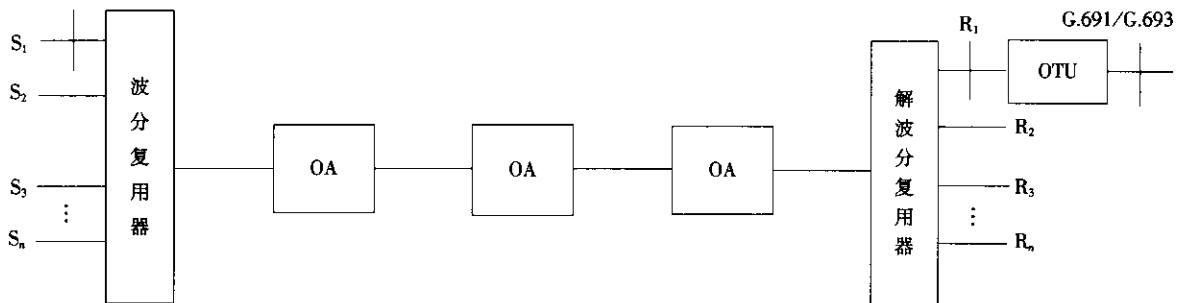


图 11 接收端 OTU 的应用

$S_2 \dots S_n$  为符合 WDM 系统要求的 SDH 接口系统。

接收端 OTU 具有对再生段开销字节 (B1、J0) 进行监视的功能。

OTU 可以对 FEC 功能的启动所带来的误码性能进行监视。

对于帧结构满足 G.709 接口的监测参数待规定。

## 9.3 OTU 接口指标

### 9.3.1 发送端 OTU 接口参数

发送端 OTU 接口参数见表 22。

表 22 发送端 OTU 接口参数

OTU 的输入端 S 点参数要求:		
接收灵敏度	dBm	-14*
接收机反射	dB	>27
过载功率	dBm	-1
输入信号波长区	nm	1 280~1 625
OTU 的输出端 S <sub>o</sub> 点参数要求:		
标称光源类型		NRZ
光谱特性		
• 最大-20dB 谱宽	nm	0.3
• 最小边模抑制比	dB	35
中心频率		
• 标称中心频率	THz	(186.95~196.05)
• 中心频率偏移	GHz	± 5
平均发送功率		
• 最大	dBm	-1
• 最小	dBm	-5
最小消光比	dB	+10
眼图模框		符合 G.691 建议眼图模板
*: 在某些情况下可以适当放松		

### 9.3.2 再生中继器 OTU 接口参数

作为再生中继器的 OTU 的接口参数见表 23。

表 23 作为再生中继器的 OTU 的接口参数

OTU 的输入端 S 点参数要求:		
接收灵敏度	dBm	-14 (PIN) 或 -21 (APD)
接收机反射	dB	>27
过载功率	dBm	0 (PIN) 或 -9 (APD)
输入信号波长区	nm	1 529.16~1 603.57
接收机色散容纳值	ps/nm	1 000
OTU 的输出端 S <sub>o</sub> 点参数要求:		
标称光源类型		*
光谱特性		
• 最大-20dB 谱宽	nm	0.3
• 最小边模抑制比	dB	35

表 23 (续)

啾啾系数		*
中心频率		
• 标称中心频率	THz	(186.95~196.05) THz
• 中心频率偏移	GHz	± 5
平均发送功率		
• 最大	dBm	-1
• 最小	dBm	-5
最小消光比	dB	+10
眼图模板		符合 G.691 建议眼图模板
*: 待研究		

### 9.3.3 接收端 OTU 接口参数

接收端 OTU 接口参数见表 24。

表 24 接收端 OTU 接口参数

OTU 的输入端 S 点参数要求:		
接收机类型 <sup>(1)</sup>		PIN 或 APD
接收灵敏度	dBm	-14 (PIN) 或 -21 (APD)
接收机反射	dB	>27
过载功率	dBm	0 (PIN) 或 -9 (APD)
输入信号波长区	nm	1 280~1 625
接收机色散容纳值	ps/nm	1 000
OTU 的输出端 S <sub>o</sub> 点参数要求:		
平均发送功率 <sup>(2)</sup>		
• 最大	dBm	-1 (+2)
• 最小	dBm	-10 (-2)
最小消光比	dB	8.2/10
注:		
(1) 接收灵敏度有两种, 运营商可以根据需要选取。		
(2) 平均发送功率有两种选项, 一种是远距离的光接口, 另一种是局内接口。		

### 9.4 OTU 抖动产生指标

OTU 的抖动产生指标应符合表 25 的要求。

表 25 OTU 的抖动产生指标

接 口	测量 带宽		峰—峰抖动 (UI)
	高通 (kHz)	低通 (MHz)	
10Gbit/s/10.66Gbit/s/10.71Gbit/s	20	80	0.30
	4 000	80	0.10

9.5 OTU 抖动转移特性

OTU 输入与输出速率相同，均为 10Gbit/s 或 10.66Gbit/s 或 10.71Gbit/s 时，抖动传递函数应符合以下模板。当 OTU 输入、输出速率不相同，例如输入为 10Gbit/s，输出为 10.66Gbit/s，可以参照执行。

OTU 抖动传递函数应该在图 12 所示曲线的下方，参数值见表 26。

表 26 抖动转移特性参数值

	$f_L$ (kHz)	$f_c$ (kHz)	$f_H$ (MHz)	$P$ (dB)
STM-64 (10Gbit/s/10.66Gbit/s/10.71Gbit/s)	10	1 000	80	0.1

抖动增益（输出抖动与输入抖动幅度的比值）

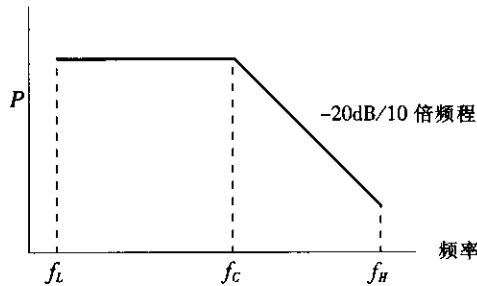


图 12 OTU 抖动传递特性

当采用带外 FEC 功能的 OTU，其输入速率与输出速率不一致时，例如输入为 10Gbit/s、输出为 10.66Gbit/s，抖动传递函数应以一对 OTU 进行测量，即以带编码功能的 OTU 与有解码功能的 OTU 相结合，其抖动转移函数测试配置如图 13 所示 (p=0.2dB)。

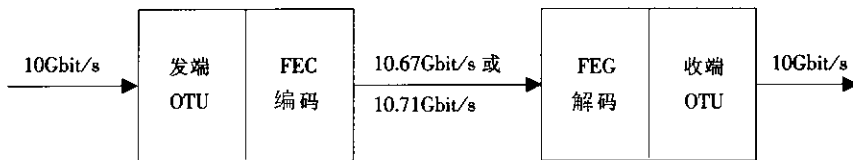


图 13 具备 FEC 功能的 OTU 抖动转移函数测试配置

9.6 OTU 输入抖动容限

OTU 输入口（速率为 10Gbit/s、10.66Gbit/s 或 10.71Gbit/s）应至少能容忍图 14 所施加的输入抖动模板，相应的参数值见表 27。

表 27 OTU 输入正弦抖动容限

频率 $f$ (Hz)	峰—峰值 (UIpp)
$2k < f \leq 20k$	$3.0 \times 10^4 f^{-1}$
$20k < f \leq 400k$	1.5
$400k < f \leq 4M$	$6.0 \times 10^5 f^{-1}$
$4M < f \leq 80M$	0.15

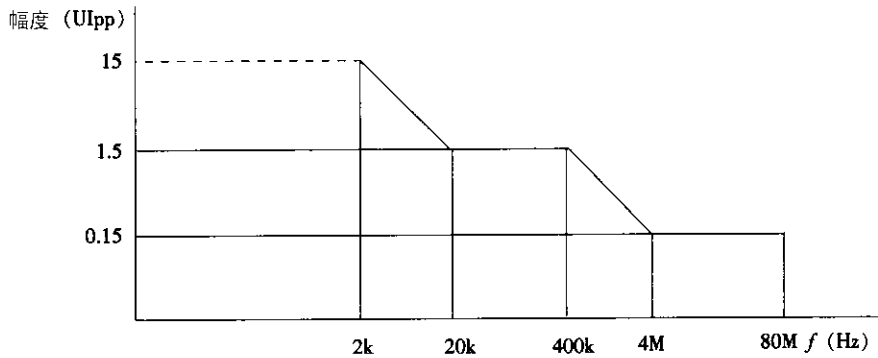


图 14 OTU (10Gbit/s、10.66Gbit/s 或 10.71Gbit/s) 输入正弦抖动容限

## 10 WDM 系统监控通路要求

参见 YDN 120—1999 《光波分复用系统总体技术要求（暂行规定）》中相应的章节。

## 11 OADM 要求

鉴于 160/80×10Gbit/s WDM 系统的通路数较多，在点到点的应用中业务量未必有如此之大，引入光分插复用器 (OADM) 在线路的中间上下波长成为非常必要的一种功能。因此，在本标准中规范在线路上分插复用波长的 OADM 设备。OADM 设备外部参考点示意如图 15 所示。

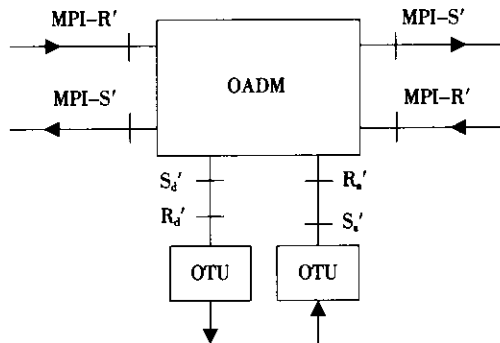


图 15 OADM 设备外部参考点示意

### 11.1 OADM 功能

- (1) 可分插复用 10Gbit/s 单通路速率的波长；
- (2) 直接通过 OADM 的波长不被上下路的操作中断；
- (3) 可以在本地或远端进行控制；



- (4) 在上游光纤断纤的情况下，应不能影响下游业务的正常工作；  
对于固定上下波长的 OADM，只需满足功能 (1) 和 (4) 的要求。  
对于 1.6Tbit/s 系统，本标准推荐优选可配置 OADM。

### 11.2 波长上下能力

应用于 160 通路 WDM 系统中的 OADM 上下的波长数目可以是固定的，也可以是可配置的。可配置的 OADM 应至少具有 8 个波长的上下能力。

### 11.3 OADM 特性参数

OADM 设备对于波长的处理分为 3 类：通过波长、上路波长和下路波长。通过波长指的是群路上的多通路信号，有一部分不必在本地上下路，直通过去。上路波长指的是在本地上路的波长。下路波长指的是在本地下路的波长。OADM 的外部光接口包括两个群路口、两个上下波长的光接口，如图 15 所示的群路入口、群路出口、上路口和下路口的 MPI-R'、MPI-S'、S<sub>n</sub>'和 R<sub>n</sub>'参考点，应分别符合相应 WDM 系统的 MPI-R、MPI-S、S<sub>n</sub>和 R<sub>n</sub>参考点的光接口特性参数。

### 11.4 OADM 的网管功能要求

本标准引入了 OADM 设备或模块，因此 WDM 网管系统中又增加了一种网元。OADM 的网络管理功能应包括故障管理、性能管理、配置管理和安全管理，在相应的功能中所指的网元也应包括 OADM 设备或模块。

#### 11.4.1 故障管理

网元管理系统应能对 OADM 支持下列告警功能：

- (1) 群路输入信号丢失；
- (2) 上路支路输入信号丢失。

其它待研究。

#### 11.4.2 性能管理

网元管理系统应支持对 OADM 设备或模块的下列性能进行监视：

- (1) 群路输入光功率；
- (2) 群路输出光功率；
- (3) 每通路光信噪比；
- (4) 上路支路输入光功率；
- (5) 下路支路输出光功率。

其它待研究。

#### 11.4.3 配置管理

网元管理系统对可灵活配置的 OADM 设备应提供下述配置管理功能：

- (1) OADM 的初始化设置；
- (2) 配置上下路波长的状态。

其它待研究。

#### 11.4.4 安全管理

安全管理应至少能提供下述管理功能：

- 操作级别及权限划分；
- 用户登录管理；
- 日志管理；
- 口令管理；
- 管理区域划分；
- 用户管理；
- 操作记录；
- 安全告警；

- 未经授权的人不能接入管理系统，具有有限授权的人只能接入相应授权的部分；
- 应能对所有试图接入受限资源的申请进行监视和实施控制。

## 12 网络管理要求

对于具有带外 FEC 功能的 OTU，其网络管理功能如下。

具有 FEC 功能的 OTU 告警量为：

- 再生段 B1 误码超限；
- J0 踪迹字节失配；
- 输入信号丢失 (LOS)；
- 输入信号帧丢失 (LOF)；
- 激光器发送失效；
- 激光器输出光功率值不足或过载；
- 激光器寿命告警；
- 光输入信号电平过高或过低；
- 纠错前过量误码告警 (适用于接收端 OTU)；
- 纠错后误码过量告警 (适用于接收端 OTU)。

具有 FEC 功能的 OTU 性能参量为：

- 光输入信号电平；
- OTU 的输出功率；
- 激光器输出光中心波长值 (可选项)；
- 激光器输出光中心波长偏移值 (可选项)；
- 激光器输出光功率值；
- 激光器波长控制对应的实测温度值；
- 激光器偏置电流值；
- B1 误码性能；
- 纠错前的误码状态 (仅适用于接收端 OTU)；
- 纠错后的误码状态 (仅适用于接收端 OTU)。

对于具有 G.709 接口的网管系统的监测参数待研究。

其它网管部分参见 YDN 120—1999《光波分复用系统总体技术要求 (暂行规定)》中相应的章节。

## 13 网络性能

### 13.1 误码性能

参见 YDN 120—1999《光波分复用系统总体技术要求 (暂行规定)》中的 13.1 节。

### 13.2 抖动性能

#### 13.2.1 网络和系统输出抖动

SDH 网络接口的最大允许输出抖动应不超过表 28 中所规定的数值。滤波器频率响应按 20dB/10 倍频程滚降，测量时间为 60s。表 28 中的数值为数字段输入信号无抖动时的输出抖动限值要求。

表 28 SDH 网络输出口最大允许输出抖动

参数值	网络接口限值 (UIpp)		测量滤波器参数		
	B1	B2	$f_1$ (Hz)	$f_3$ (kHz)	$f_4$ (MHz)
STM-N 等级					
STM-64 (光)	1.5 (0.75)	0.15	20 000	4 000	80

## 13.2.2 WDM 系统承载的 SDH 网络输入口的抖动和漂移容限

SDH 设备的 STM-N 输入口应能至少容忍按图 16 的模框所施加的输入抖动和漂移，相应的参数值见表 29。

表 29 STM-64 输入抖动和漂移容限

频率 $f$ (Hz)	要求 (峰-峰)
$10 < f \leq 12.1$	2 490UI (0.25 $\mu$ s)
$12.1 < f \leq 20k$	$3.0 \times 10^4 f^{-1}$
$20k < f \leq 400k$	1.5UI
$400k < f \leq 4M$	$6.0 \times 10^5 f^{-1}$ UI
$4M < f \leq 80M$	0.15UI

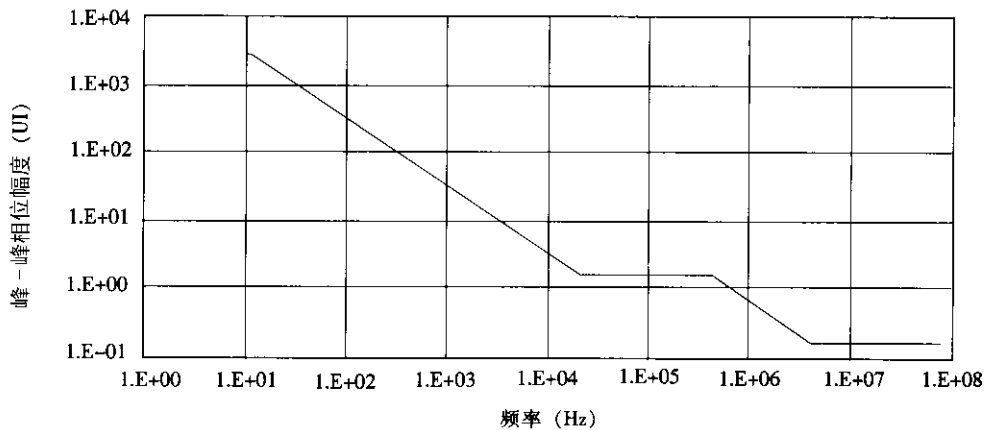


图 16 STM-64 抖动容限

## 14 APR 和 ALS 进程

为了保持后向兼容性，本标准与已经存在建议光安全部分的规定不相矛盾，本标准同时定义了 ALS 和 APR 进程，为 WDM 系统提供了两种光安全进程选项。对于已经敷设的 WDM 系统，可以采用 ALS 进程。但新敷设的 WDM 系统应支持 APR 功能。

光缆切断、设备失效或光连接器拔出等均会导致光功率丢失，出于人眼安全的考虑，在主光通道一个光段内光功率丢失的情况下，需要系统实施 ALS 和 APR 进程。为便于在链路重新连好以后系统能容易地恢复，同时考虑实施自动（或人工）重启动进程。

## (1) APR 在 WDM 系统和 OTN 中的应用

在受限的地点，对那些运行输出功率为危险等级 1 (+10dBm) 的光接口都需要采用 APR 技术。在功率减少后，剩余的所有通道的功率（包括由光监控通路 OSC 来的功率）减少 10dBm 水平以内，不排除光放大器的完全关闭。

假设图 17 所示的 A 点光缆断裂，接收接口  $R_2$  处出现的光传输段的连续性丢失 (LOC-OTS) 缺陷，则用来减少传输接口  $T_2$  的输出功率。接口  $T_2$  输出功率的降低又导致接收接口  $R_1$  处的 LOC-OTS 缺陷，后者又使得传输接口  $T_1$  处的输出功率减少。

对于 OTN 和 WDM 系统， $R_1$ 、 $T$  处 LOC-OTS 的定义和检测准则待研究。

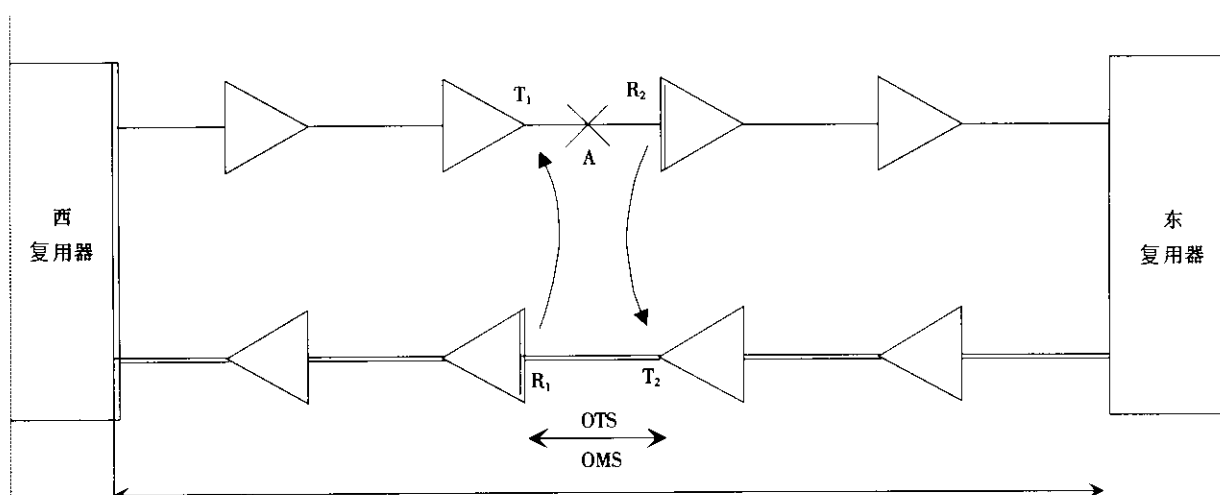


图 17 APR 功能示意

在受影响的 OTS 内，在受限地点的所有光输出端处的功率应在 3s 之内（OTS 中断时刻起）减至 10 dBm 以下。

当该 OTS 内的连接修复以后，需要有一种自动的或人工的重启动来恢复这段 OTS 内的传输。在连接中断以后或在前一次（不成功的）重启动动作以后的 100s 内不应激活重启动，除非连接性能得到保证。重启动期间和重启动以后，直至连接性得到保证之前，在受影响的 OTS 内的功率电平危险等级不应超过等级 1 (+10dBm)。

APR 程序不应导致下游产生告警，即只有受影响的 OTS 知道。APR 不排除在受影响的 OMS 段内对其它放大器的二次动作，也不排除 OMS 段外正在工作的设备，如 SDH 单波长设备的关断。然而这不能干扰受影响的 OTS 的安全程序。

适于支持横向兼容的光接口的重新启动的详细内容尚需做进一步研究。

对于双向系统 (bi-directional system)，也必须满足同样的光安全要求，并采用单向系统一样的原则。但详细过程还需研究。

## (2) 喇曼光放大器的安全性

对于带 RAMAN 增益型的光放大器的 WDM 系统，也必须满足同样的光安全要求，并必须保证在 APR 进程中对 RAMAN 泵浦也进行光安全进程处理，但详细过程还需研究。在光纤切断时，接收接口 R<sub>2</sub> 处出现的光传输段的连续性丢失 (LOC-OTS) 缺陷，不仅用于减少 T<sub>2</sub> 端 EDFA 光放大器的输出光率，也用来减少/切断接收接口 R<sub>2</sub> 的喇曼泵浦源输出功率，T<sub>2</sub> 的输出功率减少又导致接收接口 R<sub>1</sub> 处的 LOC-OTS 缺陷，后者又使得传输接口 T<sub>1</sub> 处的输出功率减少，同时减少/切断接收接口 R<sub>1</sub> 的喇曼泵浦源输出功率。