

ICS 33.040.20
M 33

YD

中华人民共和国通信行业标准

YD/T 1960-2009

$N \times 10\text{Gbit/s}$ 超长距离波分复用 (WDM) 系统技术要求

Technical Requirements for Ultra Long Haul $N \times 10\text{Gbit/s}$
Wavelength Division Multiplexing(WDM) Systems

2009-06-15 发布

2009-09-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 符号和缩略语	4
5 超长距离 WDM 系统分类	6
6 系统参数要求	10
7 OTU 技术要求	19
8 光放大器技术要求	24
9 色散补偿技术要求	29
10 FEC 技术要求	30
11 动态功率控制和增益均衡技术要求	30
12 OADM 的技术要求	31
13 监控通路要求	31
14 传输功能和性能要求	32
15 网络管理要求	34
16 APR 进程要求	34
附录 A (资料性附录) MS-ULH WDM 系统应用若干问题分析	35
附录 B (资料性附录) 基于 80/10×10Gbit/s 的 SS-ULH WDM 系统	40

前 言

本标准是在参考 YDN 120-1999《光波分复用系统总体技术要求（暂行规定）》、YD/T1143-2001《光波分复用系统（WDM）技术要求——16×10Gbit/s、32×10Gbit/s 部分》、YD/T 1274-2003《光波分复用系统（WDM）技术要求——160×10Gbit/s、80×10Gbit/s 部分》的基础上，结合我国具体情况制定。

本标准的附录 A、附录 B 均为资料性附录。

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：工业和信息化部电信研究院、华为技术有限公司、中兴通讯股份有限公司武汉邮电科学研究院、上海贝尔阿尔卡特股份有限公司、中讯邮电咨询设计院、广东北电通信设备有限公司、北京西门子通信网络股份有限公司

本标准主要起草人：赵文玉、胡昌军、李时星、张红宇、叶 波、李 园、王光全、刘晓雷、蒋俏峰

N×10Gbit/s 超长距离波分复用（WDM）系统技术要求

1 范围

本标准规定了 $N \times 10\text{Gbit/s}$ 的单纤单向超长距离波分复用（WDM）系统（多跨段超长 WDM 系统和单跨段超长 WDM 系统）在 C 波段传输时的技术要求，主要包括系统分类、系统参数要求、光波长转换器（OTU）技术要求、光放大器技术要求、色散补偿技术要求、前向纠错（FEC）技术要求、动态功率控制和增益均衡技术要求、光分插复用器（OADM）技术要求、光监控通路要求、传输功能和性能要求、网络管理要求和自动功率减小（APR）进程要求等。

本标准适用于无电中继传输距离在 $1000\text{km} \sim 3000\text{km}$ 、单通路速率为 10Gbit/s 、工作在 C 波段、传输码型为非归零（NRZ）和归零（RZ）的多跨段超长距离 WDM 系统和无电中继传输距离 $160\text{km} \sim 200\text{km}$ 、单通路速率为 10Gbit/s 、工作在 C 波段、传输码型为 NRZ 和 RZ 的单跨段超长距离 WDM 系统。

注：RZ 可有多种调制格式，如啁啾 RZ（CRZ）、载波抑制 RZ（CS-RZ）和其他调制方式。

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。

YD/T 1274-2003	光波分复用系统（WDM）技术要求—— $160 \times 10\text{Gbit/s}$ 、 $80 \times 10\text{Gbit/s}$ 部分
YD/T 1259-2003	波分复用系统（WDM）光安全进程技术要求
YD/T 1383-2005	波分复用（WDM）网元管理系统技术要求
YDN 120-1999	光波分复用系统总体技术要求（暂行规定）
ITU-T G.652	单模光纤光缆的特性
ITU-T G.655	非零色散单模光纤光缆的特性
ITU-T G.666	PMD 补偿器特性和 PMD 补偿接收机
ITU-T G.667	自适应色度色散补偿器特性
ITU-T G.691	单信道 STM-64 和其他带有光纤放大器 SDH 系统的光接口
ITU-T G.709	光传送网（OTN）接口
ITU-T G.957	与同步数字体系有关的设备和系统的光接口
ITU-T G.959.1	光传送网物理层接口
ITU-T G.975	海底系统的前向纠错
ITU-T G.975.1	高比特率 DWDM 海底系统的前向纠错
ITU-T G.sup43	光传送网（OTN）中传送 IEEE 10G base-R
IEEE 802.3	局域网协议标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

绝对频率参考 Absolute Frequency Reference

绝对频率参考 (AFR) 是指能提供光信号频率精度和频率稳定度的光频率参考。具体 AFR 的频率精度和频率稳定度数值待研究。

3.2

C 波段 Conventional Band

C 波段是指波长在 1530nm~1565nm 之间的波段。

3.3

L 波段 Long Wavelength Band

L 波段是指波长在 1565nm~1625nm 之间的波段。

3.4

标称中心频率 (波长) Nominal Central Frequency

以频率 193.10THz (真空波长 1552.52nm) 为参考频率 (波长), 在波分复用系统中按照一定频率间隔分配的频率 (波长)。

3.5

标称通路间隔 Nominal Channel Spacing

相邻通路的标称中心频率 (波长) 之差。

3.6

中心频率 (波长) 偏移 Central Frequency (Wavelength) Deviation

标称中心频率 (波长) 与实际工作频率 (波长) 之差。

3.7

光功率放大器 Optical Booster Amplifier

用在 WDM 系统发送端合波器后面, 用于提高系统发送光功率的光放大器。

3.8

光线路放大器 Optical Line Amplifier

在无源光纤段之间以补充光纤损耗, 用于延长无电中继长度的光放大器。

3.9

光前置放大器 Optical Pre-Amplifier

用在 WDM 系统接收端分波器前面, 用于提高信号接收灵敏度的光放大器。

3.10

光纤喇曼放大器 Fiber Raman Amplifier

基于 WDM 系统传输光纤的受激喇曼散射 (SRS) 效应进行信号放大的光放大器。

3.11

开关增益 ON-OFF Gain

分布式喇曼放大器打开和关闭泵浦光源时在增益测试点 (GMP) 的光功率变化值, 以 dB 为单位表示。

3.12

有效噪声指数 Effective Noise Figure

和分布式光纤喇曼放大器产生相同增益和放大自发辐射 (ASE) 噪声功率且置于光纤末端的等效集中式放大器的噪声系数。

3.13

组合放大器 Composite Amplifier

RFA 和 EDFA 级联后共同对光信号进行放大的组合放大器。

3.14

高功率光放大器 High Power Optical Amplifier

输出功率大于 +23dBm 的光放大器。一般指的是高功率掺铒光纤放大器 (EDFA)。

3.15

遥泵光放大器 Remote Optical Pumped Amplifier

泵浦光源与集中式增益介质相距甚远的光放大器。根据泵浦光和信号光是否合用信号传输光纤, ROPA 可分为共路和旁路两种。

3.16

光通道代价 Optical Path Penalty

脉冲在光通道中的传输导致的接收机灵敏度的变化 (接收机前向纠错 (FEC) 功能打开), 单位为 dB。产生光通道代价的因素主要包括非线性效应、色度色散 (CD)、偏振模色散 (PMD)、偏振依赖损耗 (PDL)、光通道反射和串扰等多种效应。

3.17

光通道光信噪比代价 Optical Path Optical Signal Noise Ratio Penalty

超长距离 WDM 系统中, 在参考接收机纠错后达到应用最大误码率 (如 $1E-12$) 时, 光波长转换器 (OTU) 直接连接到参考接收机时 S_n (或 R_n) 点处最小光信噪比 (OSNR) 值与系统长距离链路传输以后 R_n 点处最小 OSNR 值之间的差值, 单位为 dB。产生光通道 OSNR 代价的因素主要包括非线性效应、CD、PMD、PDL、光通道反射和串扰等多种效应。

3.18

光通道光信噪比裕量 Optical Path Optical Signal Noise Ratio Margin

超长距离 WDM 系统中, 在参考接收机纠错后达到应用最大误码率 (如 $1E-12$) 时, 光通道寿命终止 (EOL) 时正常工作 R_n 点所需 OSNR 最小值与光通道寿命初始 (BOL) 时正常工作 R_n 点所需 OSNR 最小值的差值, 单位为 dB。该参数主要考虑发射机、接收机和光放大器等单元器件老化效应、人工操作误差、其他未知因素等对于 R_n 点 OSNR 值的影响。

3.19

接收机光信噪比容限 Receiver Optical Signal Noise Ratio Tolerance

超长距离 WDM 系统中, 在参考接收机纠错后达到应用最大误码率 (如 $1E-12$) 时, 光波长转换器 (OTU) 直接连接到参考接收机时 S_n (或 R_n) 点可容忍的最小 OSNR 值。该值在发射机眼图、消光比、 S_n 点光回损、接收机连接器劣化和测量容差等发射机条件最坏情况下, 接收机最大和最小输入功率之间所有功率值输入时都必须满足。接收机 OSNR 容限并不考虑非线性效应、CD、PMD、PDL、光通道反射

和串扰等效应，这些效应在光通道 OSNR 代价中考虑。根据是否考虑老化效应，接收机 OSNR 容限的具体值可分为 BOL 值和 EOL 两类。

3.20

残余色度色散范围 Range of Residual Chromatic Dispersion

超长距离 WDM 系统中，在保证光通道 OSNR 代价满足要求的前提下系统可容忍的色度色散范围。

3.21

最大差分群时延 Maximum Differential Group Delay

超长距离 WDM 系统中，由偏振模色散引起的光通道 OSNR 代价为 1dB 时的差分群时延值。

4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本标准。

3R	Reamplification, Reshaping and Retiming	重放大、重整形和重定时
ACDC	Adaptive Chromatic Dispersion Compensation	自适应色度色散补偿
AFR	Absolute Frequency Reference	绝对频率参考
AIS	Alarm Indication Signal	告警指示信号
APD	Avalanche Photodiode	雪崩光电二极管
APR	Automatic Power Reduction	自动功率减小
ASE	Amplified Spontaneous Emission	放大自发辐射
BOL	Begin of Life	寿命初始
CFBG	Chirped Fiber Bragg Gratings	啁啾光纤布拉格光栅
CRZ	Chirped Return to Zero	啁啾归零码
CS-RZ	Carrier Suppressed Return to Zero	载波抑制归零码
DCC	Data Communication Channel	数据通信通路
DEG	Degraded	(性能)劣化
DGE	Dynamic Gain Equalization	动态增益均衡
EDFA	Erbium-Doped Fibre Amplifier	掺铒光纤放大器
EOL	End of Life	寿命終了
ESC	Electric Supervisory Channel	电监控通路
EXC	Excessive	(性能)越限
FCDC	Fixed Chromatic Dispersion Compensation	固定色度色散补偿
FEC	Forward Error Correction	前向纠错
FOADM	Fixed Optical Add-Drop Multiplexer	固定上下光分插复用器
FRA	Fiber Raman Amplifier	光纤喇曼放大器
GCC	General Communications Channel	通用通信通路
GMP	Gain Measurement Point	增益测试点
LAN	Local Area Network	局域网
LCD	Liquid Crystal Devices	液晶器件

LCK	Locked	锁定
LOF	Loss of Frame	帧丢失
LOS	Loss of Signal	信号丢失
MEMS	Micro-Electro-Mechanical systems	微机械系统
MPI	Main Path Interface	主光通道接口
MS-ULH	Multi-Span Ultra-Long-Haul	多跨段超长距离
NRZ	Non-Return to Zero	非归零
OADM	Optical Add-Drop Multiplexer	光分插复用器
OBA	Optical Booster Amplifier	光功率放大器
OCI	Open Connection Indication	开放连接指示
ODCx	ODUk Clock of type "x"	ODUk 时钟类型“x”
ODU	Optical Demultiplexer Unit	光解复用器单元（分波器）
ODUk	Optical Channel Data Unit-k	k 阶光通路数据单元
OLA	Optical Line amplifier	光线路放大器
OMU	Optical Multiplexer Unit	光复用器单元（合波器）
OPA	Optical Pre-amplifier	光前置放大器
OSC	Optical Supervisory Channel	光监控通路
OSNR	Optical Signal-to-Noise Ratio	光信噪比
OTH	Optical Transport Digital Hierarchy	光传送体系
OTN	Optical Transport Network	光传送网
OTU	Optical Transponder Unit	光波长转换器
OTUk	Optical Channel Transport Unit-k	k 阶光通路传送单元
PLC	Planar-Lightwave-Circuit	平面波导电路
PM	Path Monitoring	通道监视
PMD	Polarization Mode Dispersion	偏振模色散
PMDC	Polarization Mode Dispersion Compensator	偏振模色散补偿器
PIN	P type-intrinsic-N type	P 型-本征层-N 型
RFA	Raman Fiber Amplifier	喇曼光纤放大器
RMON	Remote Monitoring	远程监控
ROADM	Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer	可重构光分插复用器
ROPA	Remote Optical Pumped Amplifier	遥泵光放大器
RZ	Return to Zero	归零
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	同步数字体系
SM	Section Monitoring	段监视
SRS	Stimulated Raman Scattering	受激喇曼散射
SS-ULH	Single-Span Ultra-Long-Haul	单跨段超长距离
VOA	Variable Optical Attenuator	可调光衰减器

WAN	Wide Area Network	广域网
WDM	Wavelength Division Multiplexing	波分复用

5 超长距离 WDM 系统分类

5.1 系统分类

根据超长距离 WDM 系统使用跨段数目的不同，超长距离（ULH）WDM 系统可分为多跨段超长距离 WDM 系统（简称为 MS-ULH WDM 系统）和单跨段超长距离 WDM 系统（简称为 SS-ULH WDM 系统）。

本标准将目标传输距离大于 1000km 的 WDM 系统称为 MS-ULH WDM 系统；将目标传输距离大于 160km 的单跨段 WDM 系统称为 SS-ULH WDM 系统。

MS-ULH WDM 和 SS-ULH 系统根据技术组成和应用需求等差异可分为几种基本类型，见表 1 和表 2。

表 1 MS-ULH WDM 系统基本类型

类 型	类型描述	通路间隔 (GHz)
I	采用常规 EDFA 的 40 波 MS-ULH WDM 系统	100
II	采用常规 EDFA 的 80 波 MS-ULH WDM 系统	50
III	采用常规 EDFA+FRA 的 40 波 MS-ULH WDM 系统 ^a	100
IV	采用常规 EDFA+FRA 的 80 波 MS-ULH WDM 系统 ^a	50

a 该类中的 FRA 一般应适用于 MS-ULH 中的长距离单跨配置

表 2 SS-ULH WDM 系统基本类型

类 型	类型描述	通路间隔 (GHz)
I	采用高功率 EDFA+FRA ^a 的 40 波 US-ULH WDM 系统	100
II	采用高功率 EDFA+FRA+遥泵 ^b 的 40 波 US-ULH WDM 系统	100

a 该类中的 FRA 为可选配置；
b 该类中的遥泵为可选配置

5.2 MS-ULH WDM 系统

5.2.1 应用代码定义

MS-ULH WDM 系统的应用代码可用下面的字符序列来表示：

Mn.Bc-xWz (s) (E)

其中：

M 表示 MS-ULH WDM 系统；

n 表示 WDM 系统所支持的最大波长数量；

B 表示 WDM 系统所支持的单通路速率：

——10G：表示 WDM 系统单通路速率为 9.953Gbit/s~12.5Gbit/s；

c 表示 WDM 系统所支持的通道间隔 (GHz)；

x 表示 WDM 系统所支持的最大跨段数量；

W 表示 WDM 系统所支持的跨段损耗值 (dB)：

——A：表示跨段损耗为 22dB；

——B：表示跨段损耗为 27dB。

z 表示 WDM 系统所支持的光纤类型；

- 652: 表示光纤为 G.652 类型;
- 655: 表示光纤为 G.655 类型。
- s 表示 WDM 系统的工作波段;
- C: 表示工作波段为 C 波段 (1530~1565nm);
- L: 表示工作波段为 L 波段 (1565~1625nm)。
- E 表示 WDM 系统的 FEC 码型:
- E: 增强型 FEC。

例如, 对于支持最多 80 个波长、通路间隔为 50GHz、传输跨段为 25、跨段损耗为 22dB、支持增强 FEC 并在 G.652 光纤 C 波段上传输的 10Gbit/s MS-ULH WDM 系统, 可表示为 M80.10G50-25A-652 (C) (E)。

本标准暂定义的 MS-ULH WDM 应用代码见表 3。

表 3 MS-ULH WDM 应用代码

应用代码	基本参数			系统容量
	通路间隔 (GHz)	跨段损耗 (M×NdB)	光纤类型	
M40.10G100-25A652 (C) (E)	100	25×22	G.652	40×10Gbit/s
M40.10G100-38A652 (C) (E)	100	38×22	G.652	
M40.10G100-20B652 (C) (E)	100	20×27	G.652	
M80.10G50-25A652 (C) (E)	50	25×22	G.652	80×10Gbit/s
M80.10G50-38A652 (C) (E)	50	38×22	G.652	
M80.10G50-15B652 (C) (E)	50	15×27	G.652	

5.2.2 中心波长分配

对于光频率的 AFR, 本标准选取的是 193.10THz。

根据 WDM 系统目前实际应用情况以及今后几年内最可能采用的应用方式, 本标准选择 C 波段为 MS-ULH WDM 系统的工作波段, 对于基于 L 波段的相关要求, 待有实际应用需求时再进一步规范。

对于基于 C 波段通路间隔为 100GHz 的 40 波 MS-ULH WDM 系统, 其中心波长分配如表 4 所示; 对于基于 C 波段通路间隔为 50GHz 的 80 波 MS-ULH WDM 系统, 其中心波长分配如表 5 所示。

表 4 基于 C 波段通路间隔为 100GHz 的 40 波 MS-ULH WDM 系统中心波长分配

波长序号	标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)	波长序号	标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)
1 ^{*a}	196.20	1527.99	27	193.60	1548.51
2 [*]	196.10	1528.77	28	193.50	1549.32
3	196.00	1529.55	29	193.40	1550.12
4	195.90	1530.33	30	193.30	1550.92
5	195.80	1531.12	31	193.20	1551.72
6	195.70	1531.90	32	193.10	1552.52
7	195.60	1532.68	33	193.00	1553.33
8	195.50	1533.47	34	192.90	1554.13
9	195.40	1534.25	35	192.80	1554.94
10	195.30	1535.04	36	192.70	1555.75
11	195.20	1535.82	37	192.60	1556.55

表 4 (续)

波长序号	标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)	波长序号	标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)
12	195.10	1536.61	38	192.50	1557.36
13	195.00	1537.40	39	192.40	1558.17
14	194.90	1538.19	40	192.30	1558.98
15	194.80	1538.98	41	192.20	1559.79
16	194.70	1539.77	42	192.10	1560.61
17	194.60	1540.56	43*	192.00	1561.42
18	194.50	1541.35	44*	191.90	1562.23
19	194.40	1542.14	45*	191.80	1563.05
20	194.30	1542.94	46*	191.70	1563.86
21	194.20	1543.73	47*	191.60	1564.68
22	194.10	1544.53	48*	191.50	1565.50
23	194.00	1545.32	49*	191.40	1566.31
24	193.90	1546.12	50*	191.30	1567.13
26	193.80	1546.92	51*	191.20	1567.95
26	193.70	1547.72	52*	191.10	1568.77

注：波长序号与波长的具体对应关系仅用来进行参考区分波长，不作为规范

a 带*号波长为可扩展波长，系统配置时宜为次选波长

表 5 基于 C 波段通路间隔为 50GHz 的 80 波 MS-ULH WDM 系统中心波长分配

波长序号	标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)	波长序号	标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)
1 ^a	196.25	1527.61	53	193.65	1548.11
2 [*]	196.20	1527.99	54	193.60	1548.51
3 [*]	196.15	1528.38	55	193.55	1548.91
4 [*]	196.10	1528.77	56	193.50	1549.32
5	196.05	1529.16	57	193.45	1549.72
6	196.00	1529.55	58	193.40	1550.12
7	195.95	1529.94	59	193.35	1550.52
8	195.90	1530.33	60	193.30	1550.92
9	195.85	1530.72	61	193.25	1551.32
10	195.80	1531.12	62	193.20	1551.72
11	195.75	1531.51	63	193.15	1552.12
12	195.70	1531.90	64	193.10	1552.52
13	195.65	1532.29	65	193.05	1552.93
14	195.60	1532.68	66	193.00	1553.33
15	195.55	1533.07	67	192.95	1553.73
16	195.50	1533.47	68	192.90	1554.13
17	195.45	1533.86	69	192.85	1554.54
18	195.40	1534.25	70	192.80	1554.94
19	195.35	1534.64	71	192.75	1555.34
20	195.30	1535.04	72	192.70	1555.75

表5 (续)

波长序号	标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)	波长序号	标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)
21	195.25	1535.43	73	192.65	1556.15
22	195.20	1535.82	74	192.60	1556.55
23	195.15	1536.22	75	192.55	1556.96
24	195.10	1536.61	76	192.50	1557.36
25	195.05	1537.00	77	192.45	1557.77
26	195.00	1537.40	78	192.40	1558.17
27	194.95	1537.79	79	192.35	1558.58
28	194.90	1538.19	80	192.30	1558.98
29	194.85	1538.58	81	192.25	1559.39
30	194.80	1538.98	82	192.20	1559.79
31	194.75	1539.37	83	192.15	1560.20
32	194.70	1539.77	84	192.10	1560.61
33	194.65	1540.16	85*	192.05	1561.01
34	194.60	1540.56	86*	192.00	1561.42
35	194.55	1540.95	87*	191.95	1561.83
36	194.50	1541.35	88*	191.90	1562.23
37	194.45	1541.75	89*	191.85	1562.64
38	194.40	1542.14	90*	191.80	1563.05
39	194.35	1542.54	91*	191.75	1563.46
40	194.30	1542.94	92*	191.70	1563.86
41	194.25	1543.33	93*	191.65	1564.27
42	194.20	1543.73	94*	191.60	1564.68
43	194.15	1544.13	95*	191.55	1565.09
44	194.10	1544.53	96*	191.50	1565.50
45	194.05	1544.92	97*	191.45	1565.91
46	194.00	1545.32	98*	191.40	1566.31
47	193.95	1545.72	99*	191.35	1566.72
48	193.90	1546.12	100*	191.30	1567.13
49	193.85	1546.52	101*	191.25	1567.54
50	193.80	1546.92	102*	191.20	1567.95
51	193.75	1547.32	103*	191.15	1568.36
52	193.70	1547.72	104*	191.10	1568.77
注：波长序号与波长的具体对应关系仅用来进行参考区分波长，不作为规范					
a 带*号波长为可扩展波长，系统配置时宜为次选波长					

5.3 SS-ULH WDM系统

5.3.1 应用代码定义

SS-ULH WDM 系统的应用代码可用下面的字符序列来表示：

Sn.Bc-Wz (s) (E)

其中：

S 表示 SS-ULH WDM 系统。

n 表示 WDM 系统所支持的最大波长数量。

B 表示 WDM 系统所支持的单通路速率：

——10G：表示 WDM 系统单通路速率为 9.953 ~12.5Gbit/s。

c 表示 WDM 系统所支持的通道间隔（GHz）。

W 表示 WDM 系统所支持的跨段损耗值（dB）：

——A：表示跨段损耗为 44dB；

——B：表示跨段损耗为 55dB。

z 表示 WDM 系统所支持的光纤类型：

——652：表示光纤为 G.652 类型；

——655：表示光纤为 G.655 类型。

s 表示 WDM 系统的工作波段：

——C：表示工作波段为 C 波段（1530~1565nm）；

——L：表示工作波段为 L 波段（1565~1625nm）。

E 表示 WDM 系统的 FEC 码型：

——E：增强型 FEC。

例如，对于支持最多 40 个波长、通路间隔为 100GHz、跨段损耗为 44dB、支持增强 FEC 并在 G.652 光纤 C 波段的上传输的 10Gbit/s SS-ULH WDM 系统，可表示为：S20.40G100-A652 (C) (E)。

本标准暂定义的 SS-ULH WDM 应用代码见表 6 中。

表 6 SS-ULH WDM 应用代码

应用代码	基本参数			系统容量
	通路间隔 (GHz)	跨段损耗 (dB)	光纤类型	
S40.10G100-A652 (C) (E)	100	44	G.652	40×10Gbit/s
S40.10G100-B652 (C) (E)	100	55	G.652	

5.3.2 中心波长分配

对于光频率的 AFR，本标准选取的是 193.10THz。

根据 WDM 系统目前实际应用情况以及今后几年内最可能采用的应用方式，本标准选择 C 波段为 SS-ULH WDM 系统的工作波段，对于基于 L 波段的相关要求，待有实际应用需求时再进一步规范。

对于基于 C 波段通路间隔为 100GHz 的 40 波 SS-ULH WDM 系统，其中心波长分配和 40 波 MS-ULH 系统的中心波长分配一致，见表 4。

6 系统参数要求

6.1 MS-ULH WDM 系统

6.1.1 参考点定义

MS-ULH WDM 系统的参考配置图如图 1 所示。图中 OTU 为光波长转换器，实现 3R 功能，即再放大、再整形和再定时；OMU 为光复用器单元，实现多个波长的复用功能；OA 为光放大单元，实现信号的光域放大（包含色散补偿功能）；ODU 为光解复用器单元，实现多个波长的解复用功能；Tx/Rx 为客户侧光接口。

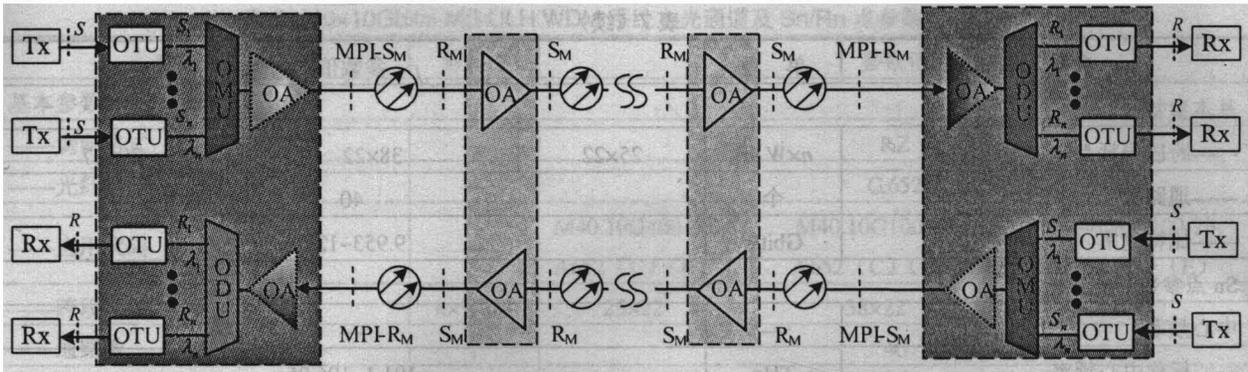


图1 MS-ULH WDM 系统参考配置

图1中定义了6个系统外参考点和2个系统内参考点，即S、MPI-S_M、R_M、S_M、MPI-R_M、R和S_n、R_n。其中S、R是MS-ULH WDM系统与客户端系统的接口参考点；MPI-S_M、R_M、S_M、MPI-R_M是MS-ULH WDM系统主光通道的参考点；S_n、R_n是MS-ULH WDM系统内OTU分别与OMU和ODU之间的参考点。这些参考点具体含义如下：

- S表示客户信号发射机输出接口之后光纤连接处的参考点；
- S_n表示OTU连接到OMU的输出接口之后光纤连接处的参考点；
- MPI-S_M表示OMU后面OA（光功率放大器）光输出接口之后光纤连接处的参考点；
- R_M表示OA（光线路放大器）输入接口之前光纤连接处的参考点；
- S_M表示OA（光线路放大器）输出接口之后光纤连接处的参考点；
- MPI-R_M表示ODU前面OA（光前置放大器）输入接口之前光纤连接处的参考点；
- R_n表示表示ODU后面连接OTU的输入接口之前光纤连接处的参考点；
- R表示客户信号接收机输入接口之前光纤连接处的参考点。

6.1.2 光接口参数要求

6.1.2.1 S/R点光接口参数要求

MS-ULH WDM系统S/R点光接口类型包括STM-16、STM-64、OTU1、OTU2、GE、10GE LAN和10GE WAN等，其中STM-16的接口参数要求见ITU-T G.957，STM-64的接口参数要求见ITU-T G.691，OTU1和OTU2的接口参数要求见ITU-T G.959.1，GE、10GE LAN和10GE WAN的接口参数要求见IEEE 802.3。

6.1.2.2 主光通道接口参数要求

对于40×10Gbit/s MS-ULH WDM系统，基于G.652光纤的主光通道接口参数要求如表7~表8所示，基于大有效面积G.655光纤的主光通道接口参数可参照执行，基于其他类型光纤系统的主光通道参数待研究。对于MS-ULH WDM系统实际应用时应注意的一些问题，参见附录A。

注：本标准所规范的参数值要求，一般指寿命终了值，除非特别说明。

表7 40×10Gbit/s MS-ULH WDM系统主光通道及S_n/R_n点参数（NRZ）

参数名称	单位	参数值		
基本参数				
——调制格式	—	NRZ		
——光纤类型	—	G.652		
——应用代码	—	M40.10G100-25	M40.10G100-38	M40.10G100-20
		A652 (C) (E)	A652 (C) (E)	B652 (C) (E)

表 7 (续)

参数名称	单位	参数值		
基本参数				
——跨段损耗 ^a	$n \times W$ dB	25×22	38×22	20×27
——通路数	个	40		
——比特速率	Gbit/s	9.953~12.5		
S_n 点参数^b				
中心频率	—	—		
——标称中心频率	THz	191.1~196.05		
——最大中心频率偏移	GHz	±12.5		
MPI-S_M/S_M 点参数^c				
每通路输出功率	—	—		
——最大	dBm	6 (7)	6 (7)	6 (7)
——最小	dBm	2 (1)	2 (1)	2 (1)
——平均	dBm	+4	+4	+4
MPI-S _M 点最大通路功率差	dB	4 (6)	4 (6)	4 (6)
MPI-S _M 点每通路最小光信噪比	dB	待研究	待研究	待研究
最大总发送功率	dBm	+20	+20	+20
光通道 (MPI-S_M~MPI-R_M) 参数				
光通道代价	dB	2	3	2
残余色度色散范围	ps/nm	待研究	待研究	待研究
最大差分群时延	ps	30	30	30
最大反射系数	dB	-27	-27	-27
最小回损	dB	24	24	24
MPI-R_M/R_M 点参数				
每通路输入功率	—	—		
——最大	dBm	-15	-15	-20
——最小	dBm	-21	-21	-26
MPI-R _M 点最大通路功率差	dB	6	6	6
MPI-R _M 点每通路最小光信噪比	dB	18 ^d	18 ^d	18 ^d
最大总接收功率	dBm	-2	-2	-7
R_n 点参数^b				
最小光信噪比	dB	18 ^d	18 ^d	18 ^d
<p>a 25×22dB 适用的跨段数目范围为 13×22dB~25×22dB, 38×22dB 适用的跨段数目范围为 26×22dB~38×22dB, 15×27dB 适用的跨段数目范围为 10×27dB~15×27dB, 22dB、27dB 跨段损耗包含 MPI-S_M~MPI-R_M 之间的光纤链路损耗、连接器接头插损和光纤链路及接头的老化裕量等;</p> <p>b S_n/R_n 点其他参数要求见本标准 7.3 节;</p> <p>c 括号中值适用于 MPI-S_M 点通路功率用预加重条件;</p> <p>d 该值对应于接收机 OSNR 容限 (EOL) 为 12dB, 光通道 OSNR 代价与光通道 OSNR 裕量之和为 6dB</p>				

表 8 40×10Gbit/s MS-ULH WDM 系统主光通道及 S_n/R_n 点参数 (RZ)

参数名称	单位	参数值		
基本参数				
——调制格式	—	RZ		
——光纤类型	—	G.652		
——应用代码	—	M40.10G100-25 A652 (C) (E)	M40.10G100-38 A652 (C) (E)	M40.10G100-20 B652 (C) (E)
——跨段损耗 ^a	$n \times W$ dB	25×22	38×22	20×27
——通路数	个	40		
——比特速率	Gbit/s	9.953~12.5		
S_n 点参数^b				
中心频率	—	—		
——标称中心频率	THz	191.1~196.05		
——最大中心频率偏移	GHz	±12.5		
MPI-S_M/S_M 点参数^c				
每通路输出功率	—	—		
——最大	dBm	6 (7)	6 (7)	6 (7)
——最小	dBm	2 (1)	2 (1)	2 (1)
——平均	dBm	+4	+4	+4
MPI-S _M 点最大通路功率差	dB	4 (6)	4 (6)	4 (6)
MPI-S _M 点每通路最小光信噪比	dB	待研究	待研究	待研究
最大总发送功率	dBm	+20	+20	+20
光通道 (MPI-S_M~MPI-R_M) 参数				
光通道代价	dB	2	3	2
残余色度色散范围	ps/nm	待研究	待研究	待研究
最大差分群时延	ps	40	40	40
最大反射系数	dB	-27	-27	-27
最小回损	dB	24	24	24
MPI-R_M/R_M 点参数				
每通路输入功率	—	—		
——最大	dBm	-15	-15	-20
——最小	dBm	-21	-21	-26
MPI-R _M 点最大通路功率差	dB	6	6	6
MPI-R _M 点每通路最小光信噪比	dB	16 ^d	16 ^d	16 ^d
最大总接收功率	dBm	-2	-2	-7
R_n 点参数^b				
最小光信噪比	dB	16 ^d	16 ^d	16 ^d
<p>a 25×22dB 适用的跨段数目范围为 13×22dB~25×22dB, 38×22dB 适用的跨段数目范围为 26×22dB~38×22dB, 20×27dB 适用的跨段数目范围为 10×27dB~20×27dB, 22dB、27dB 跨段损耗包含 MPI-S_M~MPI-R_M 之间的光纤链路损耗、连接器接头插损和光纤链路及接头的老化裕量等;</p> <p>b S_n/R_n 点其他参数要求见本标准 7.3 节;</p> <p>c 括号中值适用于 MPI-S 点通路功率采用预加重条件;</p> <p>d 该值对应于接收机 OSNR 容限 (EOL) 为 10dB, 光通道 OSNR 代价与光通道 OSNR 裕量之和为 6dB</p>				

对于 80×10Gbit/s MS-ULH WDM 系统, 基于 G.652 光纤的主光通道接口参数要求如表 9~表 10 所示, 基于大有效面积 G.655 光纤的主光通道接口参数可参照执行, 基于其他类型光纤系统的主光通道参数待研究。

表 9 80×10Gbit/s MS-ULH WDM 系统主光通道及 S_n/R_n 点参数 (NRZ)

参数名称	单位	参数值	
基本参数			
——调制格式	—	NRZ	
——光纤类型	—	G.652	
——应用代码	—	M80.10G50-25A652 (C) (E)	M80.10G50-15B652 (C) (E)
——跨段损耗 ^a	n×W dB	25×22	15×27
——通路数	个	80	
——比特速率	Gbit/s	9.953~12.5	
S_n 点参数^b			
中心频率	—	—	
——标称中心频率	THz	191.10~196.25	
——最大中心频率偏移	GHz	±5.0	
MPI-S_M/S_M 点参数^c			
每通路输出功率	—	—	
——最大	dBm	+6 (+7)	+6 (+7)
——最小	dBm	+2 (+1)	+2 (+1)
——平均	dBm	+4	+4
MPI-S _M 点最大通路功率差	dB	4 (6)	4 (6)
MPI-S _M 点每通路最小光信噪比	dB	待研究	待研究
最大总发送功率	dBm	+23	+23
光通道 (MPI-S_M~MPI-R_M) 参数			
光通道代价	dB	2	2
残余色度色散范围	ps/nm	待研究	待研究
最大差分群时延	ps	30	30
最大反射系数	dB	-27	-27
最小回损	dB	24	24
MPI-R_M/R_M 点参数			
每通路输入功率	—	—	
——最大	dBm	-15	-20
——最小	dBm	-21	-26
MPI-R _M 点最大通路功率差	dB	6	6
MPI-R _M 点每通路最小光信噪比	dB	18 ^d	18 ^d
参数名称	单位	参数值	
最大总接收功率	dBm	+1	-4
R_n 点参数^b			
最小光信噪比 ^d	dB	18 ^d	18 ^d
<p>a 25×22dB 适用的跨段数目范围为 13×22dB~25×22dB, 15×27dB 适用的跨段数目范围为 10×27dB~15×27dB, 22dB、27dB 跨段损耗包含 MPI-S_M~MPI-R_M 之间的光纤链路损耗、连接器接头插损和光纤链路及接头的老化裕量等;</p> <p>b S_n/R_n 点其他参数要求见本标准 7.3 节;</p> <p>c 括号中值适用于 MPI-S_M 点通路功率采用预加重条件;</p> <p>d 该值对应于接收机 OSNR 容限 (EOL) 为 12dB, 光通道 OSNR 代价与光通道 OSNR 裕量之和为 6dB</p>			

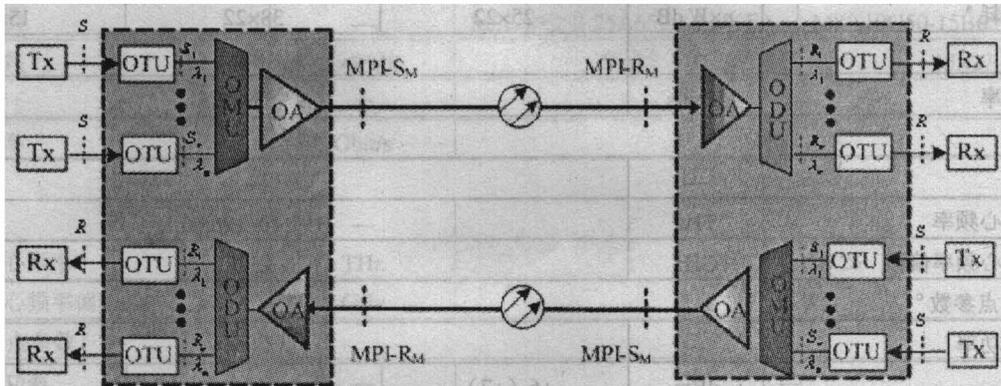
表 10 80×10Gbit/s MS-ULH WDM 系统主光通道及 S_n/R_n 点参数 (RZ)

参数名称	单位	参数值		
基本参数				
——调制格式	—	RZ		
——光纤类型	—	G.652		
——应用代码	—	M80.10G50-25 A652 (C) (E)	M80.10G50-38 A652 (C) (E)	M80.10G50-15 B652 (C) (E)
——跨段损耗 ^a	n×W dB	25×22	38×22	15×27
——通路数	个	80		
——比特速率	Gbit/s	9.953~12.5		
S_n 点参数^b				
中心频率	—	—		
——标称中心频率	THz	191.10~196.05		
——最大中心频率偏移	GHz	±5.0		
MPI-S_M/S_M 点参数^c				
每通路输出功率	—	—		
——最大	dBm	+6 (+7)	+6 (+7)	+6 (+7)
——最小	dBm	+2 (+1)	+2 (+1)	+2 (+1)
——平均	dBm	+4	+4	+4
MPI-S _M 点最大通路功率差	dB	4 (6)	4 (6)	4 (6)
MPI-S _M 点每通路最小光信噪比	dB	待研究	待研究	待研究
最大总发送功率	dBm	23	23	23
光通道 (MPI-S_M~MPI-R_M) 参数				
光通道代价	dB	2	3	2
残余色度色散范围	ps/nm	待研究	待研究	待研究
最大差分群时延	ps	40	40	40
最大反射系数	dB	-27	-27	-27
最小回损	dB	24	24	24
MPI-R_M/R_M 点参数				
每通路输入功率	—	—		
——最大	dBm	-15	-15	-20
——最小	dBm	-21	-21	-26
MPI-R _M 点最大通路功率差	dB	6	6	6
MPI-R _M 点每通路最小光信噪比	dB	16 ^d	16 ^d	16 ^d
最大总接收功率	dBm	+1	+1	-4
R_n 点参数^b				
最小光信噪比	dB	16 ^d	16 ^d	16 ^d
<p>a 25×22dB 适用的跨段数目范围为 13×22dB~25×22dB, 38×22dB 适用的跨段数目范围为 26×22dB~38×22dB, 15×27dB 适用的跨段数目范围为 10×27dB~15×27dB, 22dB、27dB 跨段损耗包含 MPI-S_M~MPI-R_M 之间的光纤链路损耗、连接器接头插损和光纤链路及接头的老化裕量等;</p> <p>b S_n/R_n 点其他参数要求见本标准 7.3 节;</p> <p>c 括号中值适用于 MPI-S_M 点通路功率采用预加重条件;</p> <p>d 该值对应于接收机 OSNR 容限 (EOL) 为 10dB, 光通道 OSNR 代价与光通道 OSNR 裕量之和为 6dB</p>				

6.2 SS-ULH WDM系统

6.2.1 参考点定义

SS-ULH WDM 系统的参考配置图如图 2 所示。图中 OTU 为光波长转换单元，实现光信号 3R 功能，即为再放大、再整形和再定时；OMU 为光复用器单元，实现多个波长的复用功能；OA 为光放大单元，实现信号的光域放大（包含色散补偿功能）；ODU 为光解复用器单元，实现多个波长的解复用功能；Tx/Rx 为客户侧光接口。



注：遥泵放大器位于光纤线路中间，配置图中未明确示意。

图 2 SS-ULH WDM 系统参考配置

图 2 中定义了 4 个系统外参考点和 2 个系统内参考点，即 S、MPI-S_M、MPI-R_M、R 和 S_n、R_n。S、R 是 SS-ULH WDM 系统与客户系统的接口参考点；MPI-S_M、MPI-R_M 是 SS-ULH WDM 系统主光通道的参考点；S_n、R_n 是 SS-ULH WDM 系统内 OTU 分别与 OMU 和 ODU 之间的参考点。这些参考点具体含义如下：

S 表示客户信号发射机输出接口之后光纤连接处的参考点；

S_n 表示 OTU 连接到 OMU 的输出接口之后光纤连接处的参考点；

MPI-S_M 表示 OMU 后面 OA（光功率放大器）光输出接口之后光纤连接处的参考点；

MPI-R_M 表示 ODU 前面 OA（光预放大器）输入接口之前光纤连接处的参考点；

R_n 表示表示 ODU 后面连接 OTU 的输入接口之前光纤连接处的参考点；

R 表示客户信号接收机输入接口之前光纤连接处的参考点。

6.2.2 光接口参数要求

6.2.2.1 S/R 点光接口参数要求

SS-ULH WDM 系统和 MS-ULH WDM 系统对于 S/R 点光接口的参数要求一致，见 6.1.2.1 节。

6.2.2.2 主光通道及系统内接口参数要求

对于 40×10Gbit/s SS-ULH WDM 系统，基于 G.652 光纤的主光通道接口参数要求见表 11～表 12，基于大有效面积 G.655 光纤的主光通道接口参数可参照执行，基于其他类型光纤系统的主光通道参数待研究。对于波数更多或跨段更长的 SS-ULH WDM 系统，参见附录 B。

表 11 40×10Gbit/s SS-ULH WDM 系统主光通道及 S_n/R_n 点参数 (NRZ)

参数名称	单 位	参数值	
基本参数			
——调制格式	—	NRZ	
——光纤类型	—	G.652	
——应用代码	—	S40.10G100-A652(C) (E)	S40.10G100- B652 (C) (E)
——跨段损耗 ^a	dB	44	55
——通路数	个	40	
——比特速率	Gbit/s	9.953~12.5	
S_n 点参数^b			
中心频率	—	—	
——标称中心频率	THz	191.1~196.05	
——最大中心频率偏移	GHz	±12.5	
MPI-S_M/ S_M 点参数^c			
每通路输出功率	—	—	
——最大	dBm	+13 (+14)	+13 (+14)
——最小	dBm	+7 (+6)	+7 (+6)
——平均	dBm	+10	+10
MPI-S _M 点最大通路功率差	dB	6 (8)	6 (8)
MPI-S _M 点每通路最小光信噪比	dB	待研究	待研究
最大总发送功率	dBm	+26	+26
光通道 (MPI-S_M~MPI-R_M) 参数			
光通道代价	dB	2	2
残余色度色散范围	ps/nm	待研究	待研究
最大差分群时延	ps	30	30
最大反射系数	dB	-27	-27
最小回损	dB	24	24
MPI-R_M/ R_M 点参数			
每通路输入功率	—	—	
——最大	dBm	-31	待研究
——最小	dBm	37	待研究
MPI-R _M 点最大通路功率差	dB	6	6
MPI-R _M 点每通路最小光信噪比	dB	17 ^d	17 ^d
最大总接收功率	dBm	-18	待研究
R_n 点参数^b			
最小光信噪比 ^d	dB	17 ^d	17 ^d
a 44dB、55dB 跨段损耗包含 MPI-S _M ~MPI-R _M 之间的光纤链路损耗、连接器接头插损和光纤链路及接头的老化裕量等；			
b S _n /R _n 点其他参数要求见本标准 7.3 节；			
c 括号中值适用于 MPI- S _M 点通路功率采用预加重条件；			
d 该值对应于接收机 OSNR 容限 (EOL) 为 12dB，光通道 OSNR 代价与光通道 OSNR 裕量之和为 5dB			

表 12 40x10Gbit/s SS-ULH WDM 系统主光通道及 S_n/R_n 点参数 (RZ)

参数名称	单位	参数值	
基本参数			
——调制格式	—	RZ	
——光纤类型	—	G.652	
——应用代码	—	S40.10G100-A652 (C) (E)	S40.10G100-B652 (C) (E)
——跨段损耗 ^a	dB	44	55
——通路数	个	40	
——比特速率	Gbit/s	9.953~12.5	
S_n 点参数^b			
中心频率	—	—	
——标称中心频率	THz	191.1~196.05	
——最大中心频率偏移	GHz	±12.5	
MPI-S_M/S_M 点参数^c			
每通路输出功率	—	—	
——最大	dBm	+13 (+14)	+13 (+14)
——最小	dBm	+7 (+6)	+7 (+6)
——平均	dBm	+10	+10
MPI-S _M 点最大通路功率差	dB	6 (8)	6 (8)
MPI-S _M 点每通路最小光信噪比	dB	待研究	待研究
最大总发送功率	dBm	+26	+26
光通道 (MPI-S_M~MPI-R_M) 参数			
光通道代价	dB	2	2
残余色度色散范围	ps/nm	待研究	待研究
最大差分群时延	ps	40	40
最大反射系数	dB	-27	-27
最小回损	dB	24	24
MPI-R_M/R_M 点参数			
每通路输入功率	—	—	
——最大	dBm	-31	待研究
——最小	dBm	-37	-待研究
MPI-R _M 点最大通路功率差	dB	6	6
MPI-R _M 点每通路最小光信噪比	dB	15 ^d	15 ^d
最大总接收功率	dBm	-18	待研究
R_n 点参数^b			
最小光信噪比	dB	15 ^d	15 ^d
<p>a 44dB, 55dB 跨段损耗包含 MPI-S_M~MPI-R_M 之间的光纤链路损耗、连接器接头插损和光纤链路及接头的老化裕量等;</p> <p>b S_n/R_n 点其他参数要求见本标准 7.3 节;</p> <p>c 括号中值适用于 MPI-S_M 点通路功率采用预加重条件;</p> <p>d 该值对应于接收机 OSNR 容限 (EOL) 为 10dB, 光通道 OSNR 代价与光通道 OSNR 裕量之和为 5dB</p>			

7 OTU 技术要求

7.1 OTU 分类

根据 WDM 系统中 OTU 的功能，OTU 可分为发送 OTU、中继 OTU 和接收 OTU 三种。按照超长距离 WDM 系统中 OTU 的具体实现，本标准将 OTU 分为收发一体型 OTU、子速率复用器型 OTU 两种，相关 OTU 外部参考点定义如图 3、图 4 中所示。图 4 中 S/R 参考点定义和图 1 中一致， S_n/R_n 是超长距离 WDM 系统的内部参考点， S_n 是 OTU 连接 OMU 单元的发送接口连纤处的参考点， R_n 是 OTU 连接 ODU 单元的接收接口连纤处的参考点。

收发一体型 OTU 可接入的客户业务包括 STM-64、10GE LAN、10GE WAN 和 OTU2（可选）等，子速率复用器型 OTU 可接入的客户业务包括 STM-16、GE 和 OTU1（可选）等。

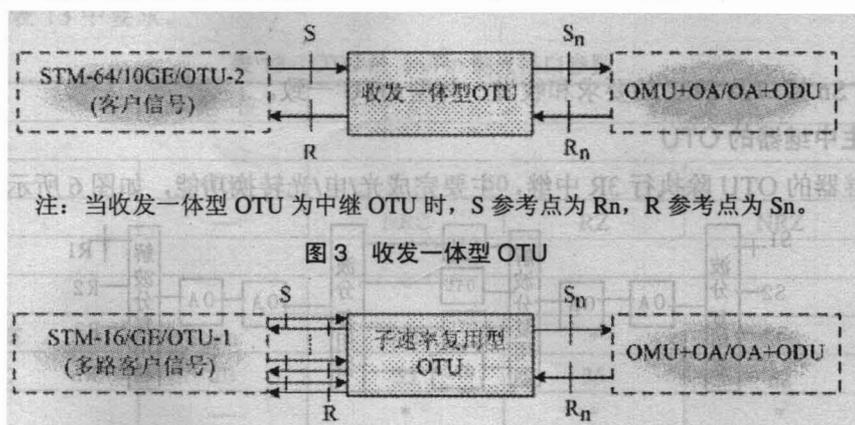


图 3 收发一体型 OTU

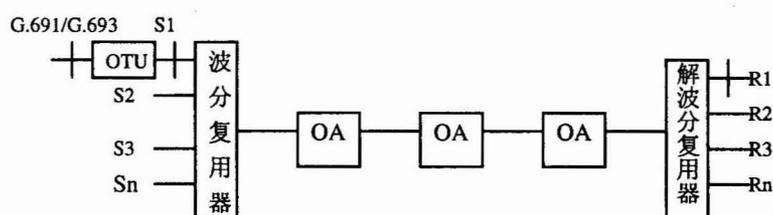
图 4 子速率复用器型 OTU

7.2 OTU 功能要求

7.2.1.1 发送端的 OTU

位于具有 G.691/G.693 等接口设备的后面，OTU 的输出为标准波长、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后面，如图 5 所示。



注： $S_2 \dots S_n$ 应符合 WDM 系统要求的客户接口系统。

图 5 发送端 OTU 的应用

发送端 OTU 的性能和故障监视要求如下：

a) 收发一体型 OTU

OTU 至少应支持 STM-64、10GE WAN、10GE LAN 和 OTU2（可选）等客户业务接入并根据 G.709 透明映射到 OTU2 帧结构。对于 10GE LAN 客户业务应支持透传，具体映射方式应满足 ITU-T G.sup43。

对于 STM-64 和 10GE WAN 帧结构的客户业务，OTU 的 S 接口至少应支持 LOS、LOF、B1、J0 等告警和性能监测；对于 10GE LAN/WAN 帧结构的客户业务，OTU 可支持 RMON 监视；对于 OTU2 帧结构的客户业务，OTU 应满足 ITU-T G.709 要求。

对于 OTU 的 S_n 接口, 应满足 ITU-T G.709 要求。

OTU 应支持 FEC 的种类 (如符合标准 G.709 的 FEC 和增强 FEC) 和工作模式 (如开、关等) 的设置, 支持 FEC 纠错前误码和纠错后误码等性能的监视。

b) 子速率复用型 OTU

对于子速率复用型 OTU, S 接口至少应支持 STM-16、GE 和 OTU1 (可选) 等客户业务接入并根据 G.709 透明映射到 OTU2 帧结构。单一 OTU 的 S/R 侧多端口客户业务可以为同类业务 (如都为 STM-16), 也可以为异类业务 (如 STM-16 和 OTU1)。

对于 STM-16 帧结构的客户业务, OTU 的 S 接口至少应支持 LOS、LOF、B1、J0 等告警和性能监测; 对于 GE 帧结构的客户业务, OTU 可支持 RMON 监视; 对于 OTU1 帧结构的客户业务; OTU 应满足 ITU-T G.709 要求。

对于 OTU 的 S_n 接口及 FEC 的要求和收发一体型 OTU 一致。

7.2.1.2 作为再生中继器的 OTU

作为再生中继器的 OTU 除执行 3R 中继, 主要完成光/电/光转换功能, 如图 6 所示。

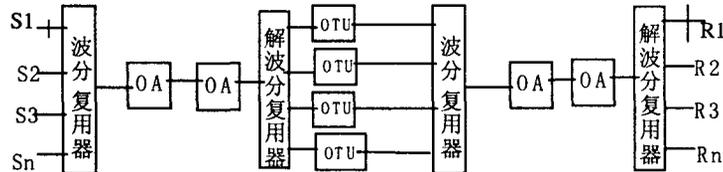


图 6 有再生中继功能的 OTU 的应用

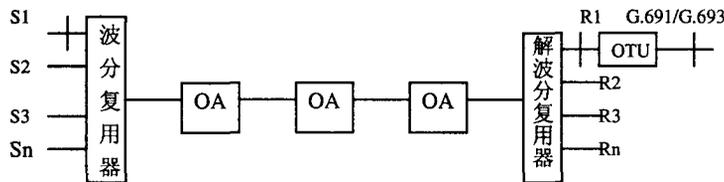
OTU 接口应满足 ITU-T G.709 要求。

OTU 应支持 FEC 的种类 (如符合标准 G.709 的 FEC 和增强 FEC) 和工作模式 (如开、关等) 的设置, 支持 FEC 纠错前误码和纠错后误码等性能的监视。

7.2.1.3 接收端的 OTU

位于具有 G.691/G.693 等接口设备的前面, OTU 的输入为符合 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 的输出光连接器后面, 如图 7 所示。



注: $S_2 \dots S_n$ 应符合 WDM 系统要求的客户接口系统。

图 7 接收端 OTU 的应用

接收端 OTU 的性能和故障监视要求如下:

a) 收发一体型 OTU

对于 STM-64 和 10GE WAN 帧结构的客户业务, OTU 的 R 接口至少应支持 LOS、LOF、B1、J0 等告警和性能监测; 对于 10GE LAN/WAN 帧结构的客户业务, OTU 可支持 RMON 监视; 对于 OTU2 帧结构的客户业务, OTU 应满足 ITU-T G.709 要求。

对于 OTU 的 R_n 的接口, 应满足 ITU-T G.709 要求。

OTU 应支持 FEC 的种类（如符合标准 G.709 的 FEC 和增强 FEC）和工作模式（如开、关等）的设置，支持 FEC 纠错前误码和纠错后误码等性能的监视。

b) 子速率复用型 OTU

对于 STM-16 帧结构的客户业务，OTU 的 R 接口至少应支持 LOS、LOF、B1、J0 等告警和性能监测；对于 GE 帧结构的客户业务，OTU 可支持 RMON 监视；对于 OTU1 帧结构的客户业务，OTU 应满足 ITU-T G.709 要求。

对于 OTU 的 R_n 接口及 FEC 的要求和收发一体型 OTU 一致。

7.3 OTU 光接口参数

对于收发一体型 OTU 和子速率复用型 OTU，S/R 侧光接口的参数指标见 6.1.2.1，对于 S_n/R_n 侧的光接口参数，应满足表 13 中要求。

表 13 OTU 的 S_n/R_n 侧光接口参数

参数名称	单位	参数值			
基本参数					
通路间隔	GHz	50		100	
传输码型	—	NRZ	RZ	NRZ	RZ
S _n 点					
光谱特性	—				
——最大-20dB 谱宽	nm	0.30	*	0.30	*
——最小边模抑制比	dB	35	35	35	35
啁啾特性	—	*	*	*	*
平均发送功率	—				
——最大	dBm	+1	+1	+1	+1
——最小	dBm	-5	-5	-5	-5
眼图模板	—	符合 G.959.1	*	符合 G.959.1	*
最小消光比	dB	10	*	10	*
中心频率	—				
——标称中心频率	THz	191.1~196.05	191.1~196.05	191.1~196.0	191.1~196.0
——最大中心频率偏移	GHz	±5	±5	±12.5	±12.5
R _n 点					
接收机类型	—	PIN/APD	PIN/APD	PIN/APD	PIN/APD
接收机最差灵敏度	dBm	-14/-21	-16/-23	-14/-21	-16/-23
接收机最大过载	dBm	0/-9	*	0/-9	*
接收机最大反射系数	dB	-27	-27	-27	-27
接收机可接收波长范围	nm	1310~1625	1310~1625	1310~1625	1310~1625
注：*表示待研究					

7.4 OTU 抖动特性

S_n/R_n 点接口为 SDH 接口的 OTU 的抖动要求见 YD/T 1274-2003。

S_n/R_n 点基于 OTN/OTH 接口的 OTU 共涉及到 ODC_a、ODC_b、ODC_r 和 ODC_p 等 4 类不同的时钟，分别应用于不同的场景。

- ODC_a：用于将 SDH 客户信号异步映射进 ODU_k；
- ODC_b：用于将 SDH 客户信号比特同步映射进 ODU_k；
- ODC_r：用于 3R 再生；
- ODC_p：用于恒定比特速率信号（如 SDH 信号）的解映射。

其中, ODCa 和 ODCb 为发送端 OTU 产生的线路侧信号提供定时, ODCr 为 3R 再生器产生的线路信号提供定时, ODCp 为已解映射的 CBR 客户信号 (包括 SDH 信号) 提供定时。针对不同的时钟类型, 分别有不同的抖动性能要求。

按照 OTU 的所实现的功能来区分, ODCa 和 ODCb 适用于发送端 OTU, ODCr 适用于再生 OTU, ODCp 适用于接收端 OTU。

7.4.1 抖动产生

OTU 的抖动产生指标应符合表 14 和表 15 的要求。

表 14 OTU 的抖动产生指标 (ODCa, ODCb 和 ODCr)

接口	指标名称	滤波器带宽	峰-峰要求 (UI)
OTU2	B1	20kHz~80MHz	0.30
	B2	4~80MHz	0.10

表 15 OTU 的抖动产生指标 (ODCp)

接口	指标名称	滤波器带宽	峰-峰要求 (UI)
STM-16	B1	5kHz~20MHz	1.00
	B2	1~20MHz	0.10
STM-64	B1	20kHz~80MHz	1.00
	B2	4~80MHz	0.10

7.4.2 输入抖动容限

ODCa 无抖动容限的要求。

接口速率为 STM-16 的 ODCb 时钟抖动容限的参数值见表 16, 相应的容限模板如图 8 所示。

表 16 STM-16 接口的输入抖动容限指标

接口类型	频率范围 (Hz)	峰-峰振幅要求
STM-16	$10 < f \leq 12.1$	622UI (0.25μs)
	$12.1 < f \leq 5k$	$7500f^{-1}UI$
	$5k < f \leq 100k$	1.5UI
	$100k < f \leq 1M$	$1.5 \times 10^5 f^{-1}UI$
	$1M < f \leq 20M$	0.15UI

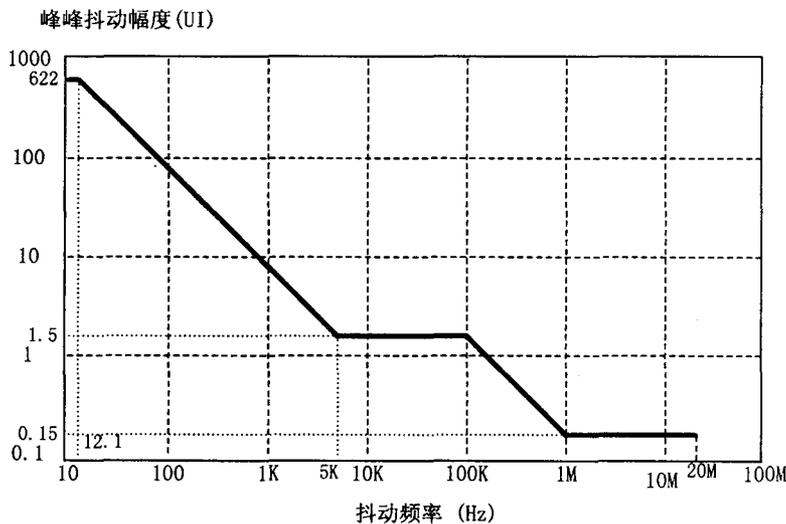


图 8 STM-16 接口的输入抖动容限

接口速率为 STM-64 的 ODCb 时钟抖动容限的参数值见表 17，相应的容限模板如图 9 所示。

表 17 STM-64 接口的输入抖动容限指标

接口类型	频率范围 (Hz)	峰-峰振幅要求
STM-64	$10 < f \leq 12.1$	2490UI (0.25 μ s)
	$12.1 < f \leq 20k$	$3.0 \times 10^4 f^{-1} UI$
	$20k < f \leq 400k$	1.5UI
	$400k < f \leq 4M$	$6.0 \times 10^5 f^{-1} UI$
	$4M < f \leq 80M$	0.15UI

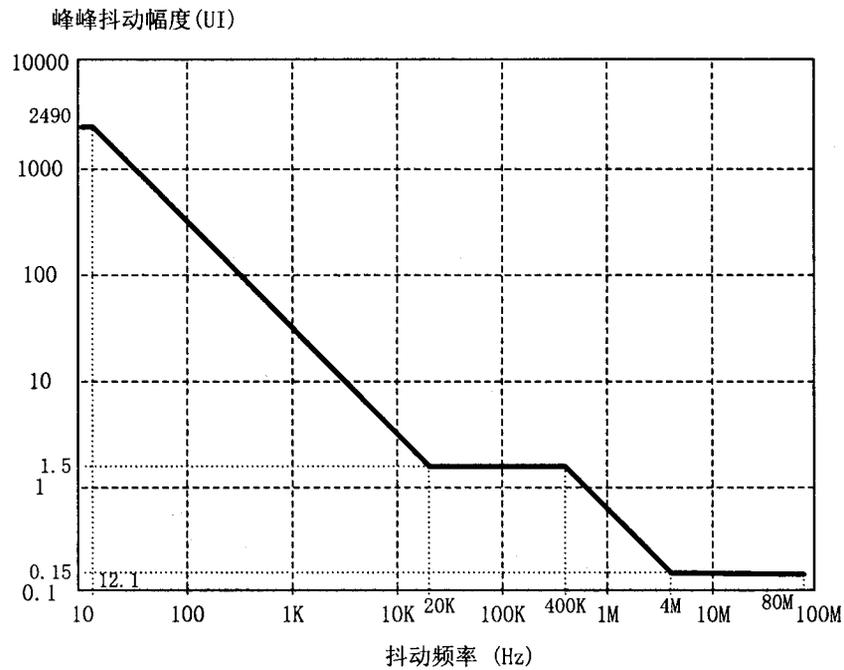


图 9 STM-64 接口的输入抖动容限模板

接口速率为 OTU2 的 ODCr 和 ODCp 抖动容限的参数值见表 18，相应的容限模板如图 10 所示。

表 18 输入抖动容限 (ODCr 和 ODCp)

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

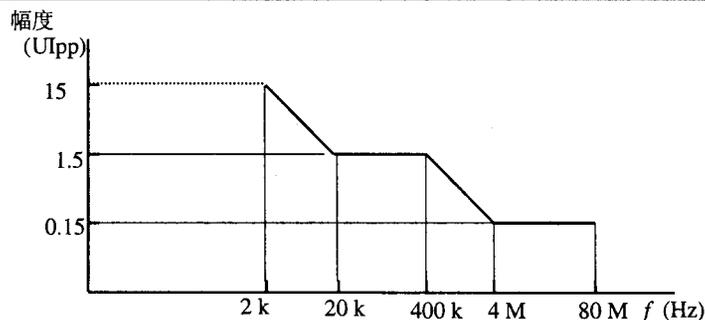


图 10 抖动容限模板 (ODCr 和 ODCp)

7.4.3 抖动转移特性

ODCa 无抖动转移特性的要求。

在输入抖动容限模板的情况下，ODCb、ODCr 的抖动传递函数应该在图 11 所示曲线的下方，参数值见表 19、表 20。

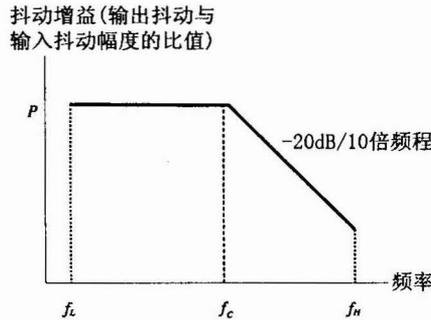


图 11 抖动转移特性模板 (ODCb 和 ODCr)

表 19 抖动转移特性指标 (ODCb)

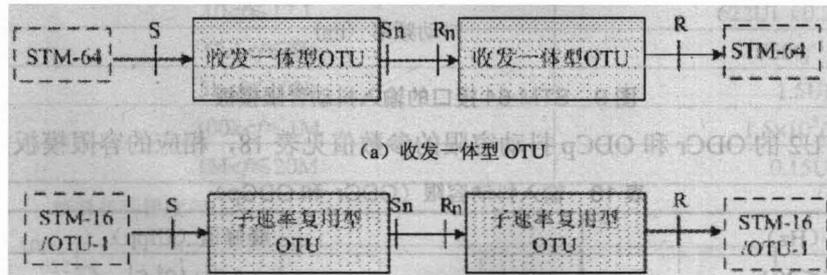
接口类型	f_L (kHz)	f_c (kHz)	f_H (MHz)	P (dB)
OTU2	40	4	400	0.1

表 20 抖动转移特性指标 (ODCr)

接口类型	f_L (kHz)	f_c (kHz)	f_H (MHz)	P (dB)
OTU2	10	1000	80	0.1

对于基于 ODCp 的抖动转移特性，其 3dB 带宽不应超过 300Hz，且最大增益峰值应为 0.1dB。

当 S/R 侧接口为 STM-64、STM-16 和 OTU1 时，OTU 的抖动转移特性测试时可按照 OTU 背靠背连接方式进行，如图 12 所示。



(b)子速率复用型 OTU

图 12 OTU 在 S 和 Sn 点速率/帧结构差异时抖动转移特性测试参考配置

8 光放大器技术要求

8.1 光放大器分类及参数定义

根据光放大器在超长距离 WDM 系统中应用位置和功能，光放大器可分为光功率放大器 (OPA)、光线路放大器 (OLA) 和光前置放大器 (OPA) 三种。

根据光放大器增益介质和结构的不同，MS-ULH WDM 系统中的光放大器可分为掺铒光纤放大器 (EDFA)、喇曼光纤放大器 (RFA) 以及 EDFA+RFA 组合放大器；SS-ULH WDM 系统中的光放大器可分为高功率 EDFA、RFA、遥泵式 EDFA 以及 EDFA+RFA 组合放大器。

光放大器参数及其定义参见 YDN 120-1999 第 6 章。

8.2 MS-ULH WDM系统

8.2.1 EDFA参数要求

EDFA 用为 OBA、OLA 和 OPA 时，其参数要求分别见表 21、表 22 和表 24。

表 21 OBA 参数要求

参数名称	单位	参数值	
通路个数	个	80	40
工作波长范围	nm	1528~1565	1528~1565
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	dBm	<-30	<-30
输入可容忍的最大反射系数	dB	-27	-27
输出可容忍的最大反射系数	dB	-27	-27
最大总输出功率	dBm	+23	+20
通路增加/移去的增益响应（稳态）	ms	<10	<10
通路增益	dB	20~25	20~25
增益平坦度	dB	<2	<2
多通路增益斜度	dB/dB	<2	<2
最大差分群时延	ps	<0.5	<0.5
偏振相关损耗	dB	<0.5	<0.5

注 *为待研究

表 22 OLA 参数要求（单个放大器）

参数名称	单位	参数值	
通路个数	个	80	40
工作波长范围	nm	1528~1565	1528~1565
总输入功率范围	dBm	*	*
噪声系数	dB	6	6
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	dBm	<-30	<-30
输入可容忍的最大反射系数	dB	-27	-27
输出可容忍的最大反射系数	dB	-27	-27
最大总输出功率	dBm	+23	+20
通路增加/移去的增益响应（稳态）	ms	<10	<10
通路增益	dB	20~25/25~30 ^a	20~25/25~30 ^a
增益平坦度	dB	<2	<2
多通路增益斜度	dB/dB	<2	<2
最大差分群时延	ps	<0.5	<0.5
偏振相关损耗	dB	<0.5	<0.5

注 *为待研究

^a 通路增益数值 20~25/25~30 中，20~25 适用于 $N \times 22\text{dB}$ 跨段，25~30 适用于 $N \times 27\text{dB}$ 跨段

表 23 OLA 参数要求 (中间级接入放大器 (放大器 1+VOA/DCF+放大器 2))

参数名称	单 位	参数值	
通路个数	个	80	40
工作波长范围	nm	1528~1565	1528~1565
总输入功率范围	dBm	*	*
有效噪声系数	dB	8	8
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	dBm	<-30	<-30
输入可容忍的最大反射系数	dB	-27	-27
输出可容忍的最大反射系数	dB	-27	-27
最大总输出功率	dBm	+23	+20
通路增加/移去的增益响应 (稳态)	ms	<10	<10
通路增益	dB	20~25/25~30 ^a	20~25/25~30 ^a
增益平坦度	dB	<2	<2
多通路增益斜度	dB/dB	<2	<2
最大差分群时延	ps	<0.5	<0.5
偏振相关损耗	dB	<0.5	<0.5
注 *为待研究。			
^a 通路增益数值 20~25/25~30 中, 20~25 适用于 N×22dB 跨段, 25~30 适用于 N×27dB 跨段			

表 24 OPA 参数要求

参数名称	单 位	参数值	
通路个数	个	80	40
工作波长范围	nm	1528~1565	1528~1565
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	dBm	<-30	<-30
输入可容忍的最大反射系数	dB	-27	-27
输出可容忍的最大反射系数	dB	-27	-27
最大总输出功率	dBm	+12~+23	+12~+20
通路增加/移去的增益响应 (稳态)	ms	<10	<10
通路增益	dB	*	*
增益平坦度	dB	<2	<2
多通路增益斜度	dB/dB	<2	<2
最大差分群时延	ps	<0.5	<0.5
偏振相关损耗	dB	<0.5	<0.5
注 *为待研究			

8.2.2 喇曼放大器参数要求

根据 RFA 的工作原理, RFA 可分为集中式 RFA 和分布式 RFA, 而分布式 RFA 又根据泵浦光和信号光传输方向的差异, 可分为前向泵浦、后向泵浦和双向泵浦等 3 种, RFA 基本结构如图 13 所示(图中 GMP 为增益测量点)。

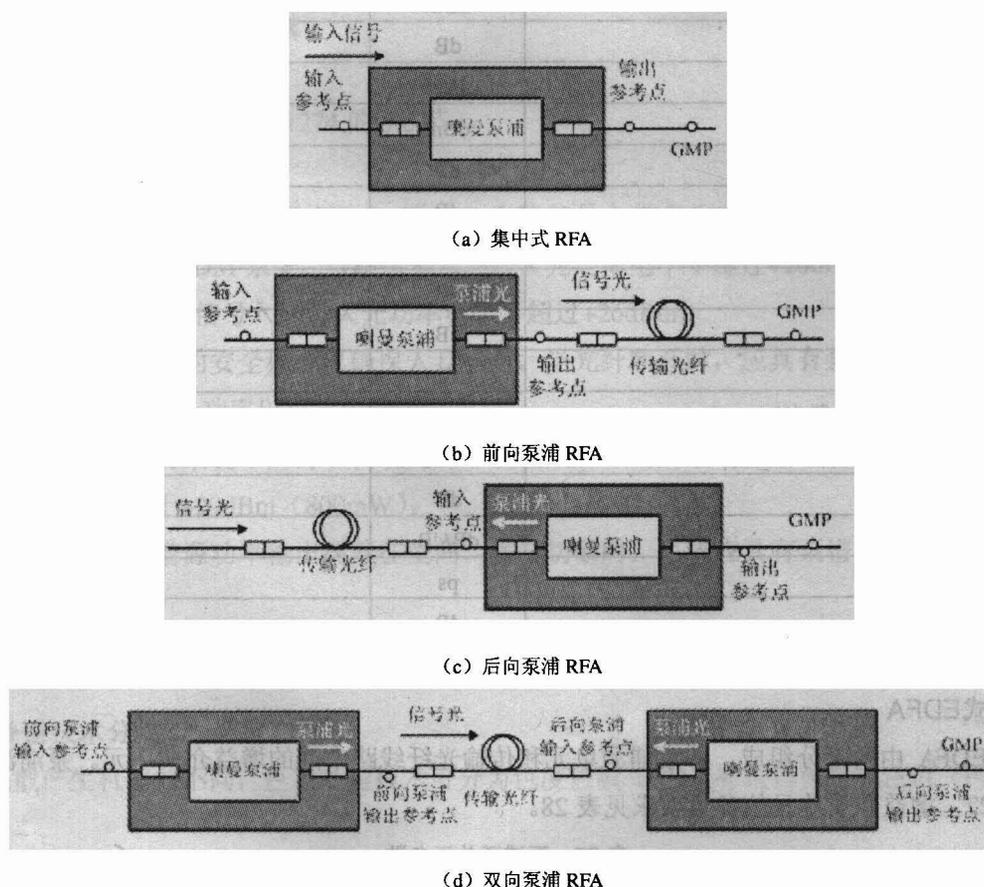


图 13 RFA 基本结构

本标准暂规范后向泵浦 RFA 参数要求, 见表 25, 对于其他类型的 RFA, 相关参数要求待研究。

表 25 RFA 基本参数

参数名称	单位	数值	
增益介质	—	G.652	G.655
泵浦波长	nm	1400~1500	1400~1500
信号波长	nm	1528~1565	1528~1565
开关增益	dB	>10	>12
等效噪声指数 (ENF)	dB	<0.5	<0

8.2.3 组合放大器

组合放大器参数要求待研究。

8.3 SS-ULH WDM系统

8.3.1 高功率EDFA

高功率 EDFA 的参数要求见表 26。

表 26 高功率 EDFA 参数要求

参数名称	单 位	参数值
通路个数	个	40
工作波长范围	nm	1528~1565
总输入功率范围	dBm	*
噪声系数	dB	<9
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
输出反射系数	dB	<-40
泵浦在输入的泄漏	dBm	<-30
输入可容忍的最大反射系数	dB	-27
输出可容忍的最大反射系数	dB	-27
最大总输出功率	dBm	+26
通路增加/移去的增益响应（稳态）	ms	<10
通路增益	dB	*
增益平坦度	dB	<2
多通路增益斜度	dB/dB	<2
偏振模式色散	ps	<0.5
偏振相关损耗	dB	<0.5
注 *为待研究		

8.3.2 遥泵式 EDFA

遥泵式 EDFA 由两部分组成，即泵浦源单元和传输光纤线路中间的增益介质单元。泵浦源单元的参数要求见表 27，增益介质单元的参数要求见表 28。

表 27 泵浦源单元参数

参数名称	单 位	性能指标
波长范围	nm	1528~1565
最大总输出光功率	dBm	*
输出端回损	dB	>40
注 *为待研究		

表 28 增益介质单元参数要求

参数名称	单 位	参数值
工作波长范围	nm	1528~1565
有效噪声系数	dB	*
通路增加/移去的增益响应（稳态）	ms	*
有效通路增益	dB	*
增益平坦度	dB	*
多通路增益斜度	dB/dB	*
偏振模式色散	ps	*
偏振相关损耗	dB	*
注 *为待研究		

8.3.3 喇曼放大器

SS-ULH WDM 系统和 MS-ULH WDM 系统的喇曼放大器参数要求一致，见表 25。

8.3.4 组合放大器

组合放大器参数要求待研究。

8.4 光放大器可靠性和安全性要求

8.4.1 光放大器可靠性要求

光放大器可靠性要求见 YD/T 1274 的 5.6 节。

8.4.2 光放大器安全性要求

对于 80×10Gbit/s 的 MS-ULH WDM 系统，合路信号入纤最大光功率电平不超过+23dBm。对于 40×10Gbit/s 的 MS-ULH WDM 系统，合路信号入纤最大光功率电平不超过+20dBm，对于 40×10Gbit/s 的 SS-ULH WDM 系统，合路信号入纤最大光功率电平不超过+26dBm。

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，喇曼泵谱源输出功率必须很高，喇曼泵谱源的总输出功率必须小于+29dBm（800mW）。

不能让放大器的泵谱源功率输出裸露在空间，光纤切断时，系统应具有泵谱源自动关断功能，以防止对人体造成伤害。

9 色散补偿技术要求

9.1 色散补偿技术分类

根据色散产生机理的不同，色散补偿技术可分为色度色散（CD）补偿和偏振模色散（PMD）补偿两类。

CD 补偿包括线性色散补偿和色散斜率的补偿。根据 CD 补偿值是否软件可调，CD 补偿方法可分为固定 CD 补偿（FCDC）和自适应色散补偿（ACDC）。本标准中主要对线性色散补偿进行规定，但由于超长距离 WDM 系统传输距离较长，可采用色散斜率的补偿，因此，实际应用中根据传输距离的不同可采用多个色散斜率补偿模块对每个子波带进行补偿。对于自适应色散补偿的详细参数定义，参见 ITU-T G.667。

PMD 补偿包括一阶 PMD 补偿和高阶 PMD 补偿。根据 PMD 补偿技术的不同实现机理，PMD 补偿技术可分为（单/多通路）光域 PMD 补偿技术、（单/多通路）电域 PMD 补偿技术和（单/多通路）光电域结合 PMD 补偿技术。对于 PMD 补偿器技术的详细参数定义，参见 ITU-T G.666。

9.2 CD补偿技术要求

9.2.1 FCDC

对于 FCDC，可采用色散补偿光纤（DCF）、啁啾光纤布拉格光栅（CFBG）等技术实现，具体参数要求待研究。

9.2.2 ACDC（可选）

对于 ACDC，可采用多种实现方式，如采用光域的啁啾光纤布拉格光栅（CFBG）和电域色散补偿（发射端或接收端实现）等。

ACDC 可以和 FCDC 结合使用, ACDC 的具体参数要求待研究。

9.3 PMD补偿技术要求

对于 PMD 值大于本标准要求的超长距离 WDM 系统,应采用 PMD 补偿技术。PMD 补偿模块(PMDC)的具体参数要求待研究。

10 FEC 技术要求

对于超长距离 WDM 系统, FEC 应至少支持符合常规 FEC 和增强型 FEC 两种。其中常规 FEC 应符合 ITU-T 建议 G709 或 G975 中规定,即采用采用标准的 RS (255, 239) 编码方式;对于增强型 FEC,具体实现编码方式暂不规定,可参照 ITU-T 建议 G975.1 中的实现方式。

对于常规 FEC,应实现 $5E-4$ 线路误码的纠错,编码增益应不小于 5dB (以 $1E-12$ 的输出误码率作为参考);对于增强型 FEC,应实现 $1E-3$ 线路误码的纠错,编码增益应不小于 7dB (以 $1E-12$ 的输出误码率作为参考)。

FEC 实现具体编解码时,应支持纠错性能统计,如支持纠错前后误码率检测等。

11 动态功率控制和增益均衡技术要求

11.1 通路功率动态控制

通过监视 OTU 的线路各通路接收性能情况来软件动态调整各通路的光功率,以实现每个通路的光功率和 OSNR 的优化并使得系统整体性能处于最佳。

通路功率动态控制的反馈参数,可为各通路信号功率、误码率、Q 因子值或者其他参数。

通路功率动态控制的具体实现方法、计算方法和具体调整参数待研究。

通路功率动态控制过程不应影响调整通路和其他通路在线业务的正常工作,支持自动启动和人工启动两种工作方式。

11.2 线路功率动态控制

超长距离 WDM 系统的线路功率应支持动态调整功能,可由内置于光放大器中的可调衰减器 (VOA) 或其他方式来实现。

线路功率动态控制模块的具体参数要求待研究。

线路功率动态控制不应影响所有通路业务的正常工作。

11.3 动态增益均衡

超长距离 WDM 系统应支持光放大器的动态增益均衡 (DGE) 功能,可由内置于光放大器的均衡滤波器、VOA 或其他方式来实现。

当逐路增加承载的通路数量时,不应影响其他通路的性能;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,不需要进行其他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,剩余通路在 10ms 内恢复正常无误码工作。

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,整个光复用段全部光信号调整完成时间应小于 5~10min,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

动态增益均衡模块的其他具体参数要求待研究,建议超长距离 WDM 系统每传输 5~10 个跨段后应

进行动态增益均衡处理。

动态增益均衡不应影响所有通路业务的正常工作。

12 OADM 的技术要求

12.1 OADM 类型

根据上下波长是否可重构（重新软件指派），可分固定上下波长的 OADM（FOADM）和重构上下波长的 OADM（ROADM）。

根据 FOADM 节点上下波长结构的组成形式，可分为串型结构、并行结构、串并行混合结构。

12.2 OADM 功能要求

12.2.1 FOADM

FOADM 至少应支持如下一些功能：

- 可分插复用 10Gbit/s 单通路速率的波长；
- 上游光纤断纤的情况下，不能影响下游业务的正常工作。

12.2.2 ROADM

ROADM 可采用多种技术和结构实现，如采用液晶（LCD）、平面波导（PLC）、微机械开关（MEMS）等技术和波长阻断（WB）、波长选择开关（WSS）等结构。本标准暂不规范 ROADM 的具体实现技术，但 ROADM 至少应支持如下一些功能：

- 可分插复用 10Gbit/s 单通路速率的波长；
- 直接通过 OADM 的波长不被上下路的操作中断；
- 可以在本地或远端进行上下波长灵活控制；
- 上游光纤断纤的情况下，不能影响下游业务的正常工作。

ROADM 级联滤波效应对于系统性能的影响分析参见附录 A。

12.3 上下波能力要求

对于 80×10Gbit/s 系统，FOADM 应至少支持 8 波的上下能力，ROADM 应支持所有波长的可上下能力；对于 40×10Gbit/s 系统，FOADM 应至少支持 4 波的上下能力，ROADM 应支持所有波长的可上下能力。

13 监控通路要求

13.1 光监控通路要求

13.1.1 速率及接口要求

超长距离 WDM 系统的光监控通路（OSC）的信号速率可选择 E1、E2、10/100Mbit/s 以太网、STM-1 或其他自定义速率等。OSC 波长采用 1510nm，另外 1625nm 可作为可选波长，实际使用波长与标称波长的差值允许范围为±10nm。

对于速率为 2Mbit/s 的 OSC，相关参数要求见 YDN 120-1999 中第 11 章，对于其他速率的 OSC，具体参数要求待研究。

13.1.2 功能要求

超长距离 WDM 系统的 OSC 应至少支持以下一些功能：

- OSC 不限制光放大器的泵浦波长；

- OSC 不能限制未来在 1310nm 波长的业务；
- OSC 在线路光纤放大器失效时仍然可以使用（不含 SS-ULH WDM 系统）；
- OSC 的传输应该是分段的并且具有 3R 功能和双向传输功能，在每个光纤放大器中继站上，信息能被正确地接收下来，而且还可附加上新的信息；
- OSC 应能实现两个光复用段的互通。
- OSC 应具有自我管理能力和光监控通路信号丢失时有告警指示，其完全独立于其他工作通道的状况。

13.2 电监控通路要求（可选）

超长距离 WDM 系统的电监控通路（ESC）仅适用于 SS-ULH 系统，应满足以下要求：

- ESC 传输应是分段的，且具有 3R 和双向传输功能。在每个 ROADM 节点设备，监控信息能够被正确地接收下来，而且还可附加上新的监控信号；
- 对于多方向的 ROADM 设备，监控信息能够正确地上下到对应的方向上；
- ESC 采用随路的方式，监控信息随主业务信号一起传送，到对端 ROADM 站再将监控信息和业务信号分离，不另外占用波长资源，不需要监控波长的合波/分波单元，提高系统的功率预算能力；
- 提供监控信息多路由冗余保护；
- ESC 监控方式和 OSC 监控方式可混合组网；
- ESC 实现方式不限于 DCC，GCC，调顶（Pilot Tone）3 种方式。DCC 利用 SDH 帧结构的空闲开销字节传送监控信息，GCC 利用 G.709 规定的 OTN 帧格式中的 GCC0/GCC1/GCC2 承载监控信息，其具体格式不在本标准规范范围内。调顶（Pilot Tone）方式将监控信息利用调顶的方式叠加在业务上与业务一起进行传输，不占用业务开销字节。
- 可提供公务通路和使用者通路接口。

14 传输功能和性能要求

14.1 保护倒换功能（可选）

超长距离 WDM 系统应支持 1+1 光通路保护，其保护倒换原理图如图 14 所示。

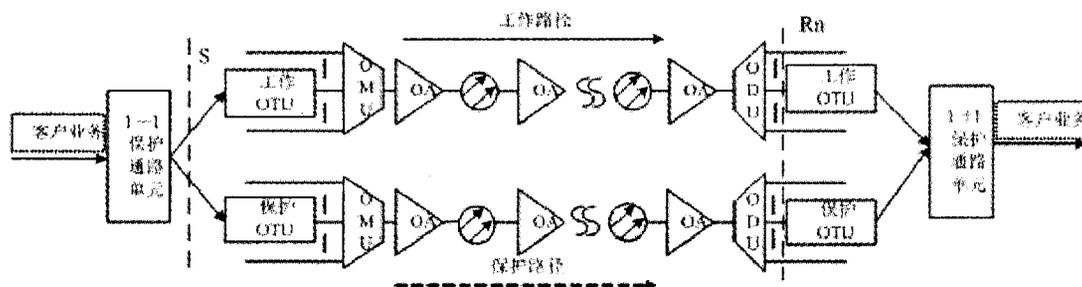


图 14 超长距离 WDM 系统保护倒换原理

超长距离 WDM 系统的保护倒换触发条件和业务受损时间要求见表 29。

表 29 保护倒换触发条件和业务受损时间

保护倒换方式	监测参考点	业务类型	倒换触发条件	业务最大受损时间 (ms)
1+1 光通路保护和	客户侧	以太网客户信号	LOS	<50
			性能越限/劣化 ^a	
		SDH 客户信号(含 POS)	LOS	
			LOF	
			B1_DEG/B1_EXC	
		OTH 客户信号	LOS	
	LOF			
	OTUk_DEG/OTUk_EXC			
	波分侧	—	LOS	
			LOF	
OTUk_AIS				
OTUk_DEG/OTUk_EXC				
ODUk_PM_AIS				
1+1 光通路保护和	波分侧	—	ODUk_PM_LCK (可选)	<50
			ODUk_PM_OCI (可选)	
			ODUk_PM_DEG/ODUk_PM_EXC	

^a 基于以太网的性能越限/劣化参数待研究

14.2 不中断业务监测功能

在每一个 EDFA 光放站和 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 WDM 系统终端站和 EDFA 光放站中继站中,可具有测量或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。测量或估算功率的精度应不低于 $\pm 1.5\text{dB}$,测量或估算光信噪比的精度应不低于 $\pm 1.5\text{dB}$ 。

14.3 误码/丢包率性能

对于 SDH 和 OTH 业务,误码性能要求为 24h 误码率为 0,即无误码。

对于以太网业务,丢包率性能指标待研究。

14.4 抖动性能

14.4.1 系统输出抖动

对于 SDH 和 OTH 业务,系统的输出抖动应满足表 30 中的要求。

表 30 系统输出抖动

接口类型	测量带宽		峰-峰抖动值 (UIpp)
	低通 (kHz)	高通 (MHz)	
STM-64/OTU2	20	80	1.5
	4000	80	0.15
STM-16/OTU1	5	20	1.5
	1000	20	0.15

14.4.2 系统输入抖动容限

对于 SDH 和 OTH 业务，系统的输入抖动容限和 OTU 的接口输入抖动容限要求一致。对于 STM-16 和 OTU1 业务，见表 16 和图 8；对于 STM-64 和 OTU2 业务，见表 17 和图 9。

14.5 电源电压容限范围

电源电压容限范围为 $-40V\sim-57V$ 。

15 网络管理要求

网络管理系统除了满足 YD/T 1383-2005 要求之外，还需支持以下一些功能：

——支持对于 OTU 的 OTN 帧格式的配置管理、性能管理和告警管理，具体性能和告警参数至少应包括本标准 7.2 节“OTU 功能要求”中的内容；

——支持 ROADM 的配置管理、性能管理和告警管理。

16 APR 进程要求

APR 进程应满足 YD/T 1259-2003 的要求。

附录 A

(资料性附录)

MS-ULH WDM 系统应用若干问题分析

A.1 MS-ULH WDM 系统中引入非标准跨段时对于系统 OSNR 的影响

本标准中 MS-ULH WDM 系统的参数指标基于 $N \times 22\text{dB}$ 或者 $N \times 27$ 相等跨段规范, 但实际网络的跨段并不一定是每段均等的理想跨段, 因此, 本节附录分析了 MS-ULH 系统中引入非标准跨段时对于系统 OSNR 参数的影响。

本附录建立的分析模型如图 A.1 所示, 其中 MS-ULH 系统由 N 个光放跨段组成。模型中 OPA 末端输出的 OSNR 值可写为:

$$\text{OSNR}_{\text{out}} = -10\log \left(10^{\left(\frac{P_{\text{in}N} - \text{NF}_N - 10\log(h\nu_r)}{10} \right)} + \dots + 10^{\left(\frac{P_{\text{in}N} - \text{NF}_N - 10\log(h\nu_r)}{10} \right)} \right) \quad (\text{A.1})$$

式中:

— $P_{\text{in}N}$ 是第 N 个光放大器的输入光功率 (dBm);

— NF_N 是第 N 个光放大器的噪声指数 (dB);

— h 是普朗克常数, 6.6219×10^{-34} (J.s);

— ν 是光频率 (Hz);

— ν_g 是光参考带宽 (Hz), 通常采用等效的 0.1nm。

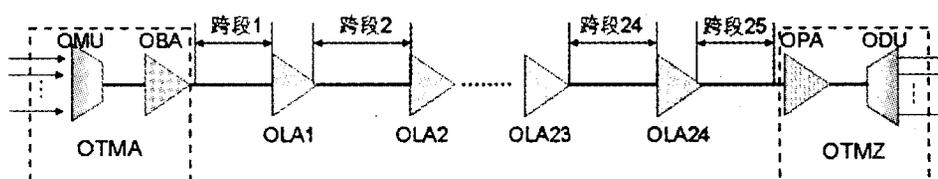


图 A.1 ULH 分析模型

假设 OBA 的 NF 为 8dB, 单通路输出功率为 +3dBm, OBA 的增益为 18dB (相当于输入功率为 -15dBm), 所有跨段均为 22dB, 所有 OLA 的 NF 为 7, OPA 的为 5.5, 光参考频率为 193.4THz (1550.12nm), 光参考带宽 12.48GHz (0.1nm), 也即 $-10\log(h\nu_g)$ 为 58。此时 OPA 输出端的 OSNR 为:

$$\text{OSNR}_{\text{out}} = -10\log \left(10^{\left(\frac{-15-7+58}{10} \right)} + \dots + 10^{\left(\frac{-19-5.5+58}{10} \right)} \right) = 17.98(\text{dB}) \quad (\text{A.2})$$

表 A.1 给出了非标准跨段的大小和个数对于系统 OSNR 的影响的示例。

表 A.1 输出功率固定时系统 OSNR 与非标准跨段关系

非标准跨段 (dB)	非标准跨段个数	OPA 输出 OSNR (dB)
30	1	17.15 ^a
30	5	14.86 ^a
14	1	18.13 ^b
14	5	18.77 ^b

a 未考虑跨段损耗增加时光放大器 NF 也要增加 (保持输出功率稳定), 因此, 实际的 OSNR 值要小于于该值;

b 未考虑跨段损耗减少时光放大器 NF 也要减小 (保持输出功率稳定), 因此, 实际的 OSNR 值要大于于该值

从上表中可以看出，如果实际网络中存在损耗较大或者较小的非标准跨段，那么实际系统 OPA 输出端的 OSNR 值将发生明显变化，尤其是存在损耗较大的非标准跨段时。

A.2 MS-ULH WDM 系统中 PMD 和 PDL 参数考虑

(1) 光纤线路 PMD 值计算

MS-ULH 中的 PMD 值的来源主要包括线路光纤和系统各种器件两部分，即：

$$DGD_{\max_{link}} = \left[DGD_{\max_F}^2 + S^2 \sum_i PMD_{Ci}^2 \right]^{1/2} \quad (A.3)$$

式中：

- $DGD_{\max_{link}}$ 是整个 WDM 系统所允许的最大 DGD 值 (ps)；
- DGD_{\max_F} 是整个光纤链路所允许的最大 DGD 值 (ps)；
- S 是为麦克斯韦调节因子，其与大于最大值出现的概率之间关系见表 A.2；
- PMD_{Ci} 是 WDM 系统中器件的 PMD 值 (ps)。

表 A.2 S 与大于最大值出现的概率之间的关系

平均值和最大值比值 (S)	大于最大值出现的概率	平均值和最大值比值 (S)	大于最大值出现的概率
3	4.2×10^{-5}	4	7.4×10^{-9}
3.2	9.2×10^{-6}	4.2	9.6×10^{-10}
3.4	1.8×10^{-6}	4.4	1.1×10^{-10}
3.6	3.2×10^{-7}	4.6	1.2×10^{-11}
3.8	5.1×10^{-8}	—	—

采用图 A.1 模型，系统最大 DGD 值选择 30ps，OMU、ODU、OBA、OLA 和 OPA 器件的 PMD 均选择 0.5ps，此时光纤链路的最大 DGD 值 DGD_{\max_F} 为：

$$DGD_{\max_F} = \sqrt{DGD_{\max_{link}}^2 - S^2 \sum_i PMD_{Ci}^2} = \sqrt{30^2 - 3^2 \times 28 \times 0.5^2} = 28.93(\text{ps}) \quad (A.4)$$

对于 25×22dB 的光纤链路，此时要求的光纤 PMD 系数 PMD_F 则为：

$$PMD_F = 28.93/S \times \frac{1}{\sqrt{25 \times 80}} = 0.22 \text{ ps} / \sqrt{\text{km}} \quad (A.5)$$

(2) 系统 PDL 值计算

对于 MS-ULH 系统中的 PDL，当器件数目较多时（器件数目 N 远大于 1），系统 PDL 平均值 PDL_{MEAN} 可用式 (A.6) 近似计算：

$$PDL_{\text{MEAN}} = \sqrt{\frac{8}{3\pi} \left[\sum_i PDL_i^2 \right]^{1/2}} \quad (\text{dB}) \quad (A.6)$$

式中：

- PDL_i 是 MS-ULH 系统中单个器件的 PDL 值；
- 系统 PDL 的最大值 PDL_{MAX} 可用式 (A.7) 近似计算：

$$PDL_{\text{MAX}} = S \sqrt{\frac{3\pi}{8} \text{Mean } PDL} = S \left[\sum_i PDL_i^2 \right]^{1/2} \quad (\text{dB}) \quad (A.7)$$

式中：

S 为麦克斯韦调节因子，其与大于最大值出现的概率之间关系见表 A.2。

当器件个数较少时（如 $N < 5$ ）时，系统 PDL 的最大值分布已不符合麦克斯韦分布，最大值可用单个器件的 PDL 值直接相加即可，见式（A.8）。

$$PDL_{MAX} = \sum_i PDL_i \text{ (dB)} \quad (\text{A.8})$$

对于分析模型图 A.1，假设 OMU、ODU、OBA、OLA 和 OPA 等器件的 PDL 均为 0.5dB，按照 $S=3$ 考虑，那么系统的和 PDL_{MEAN} 和 PDL_{MAX} 为：

$$PDL_{MEAN} = \sqrt{\frac{8}{3\pi} \left[\sum_{i=1}^{28} 0.5^2 \right]^{1/2}} = 2.44 \text{ (dB)} \quad (\text{A.9})$$

$$PDL_{MAX} = 3 \times \left[\sum_{i=1}^{28} 0.5^2 \right]^{1/2} = 7.93 \text{ (dB)} \quad (\text{A.10})$$

式（A.10）值为峰峰值，考虑到偏振态的随机变化， PDL_{MAX} 的变化值范围为 $\pm 3.97\text{dB}$ 。这导致功率随着偏振态的变化而动态变化，带来相应的系统代价。实际的动态增益均衡系统一般无法补偿这种变化，具体应用时应特别注意。

A.3 MS-ULH WDM 系统中多个 ROADM 级联时的通带降低效应

MS-ULH 系统中引入多个 ROADM 节点时，多个滤波器的级联效应将导致整个系统对于单通路的通带变窄，带来额外系统代价。为了解释该效应，本附录采用 8 个高斯滤波器级联和 8 个平顶滤波器级联的情形分别进行分析。

由于制造精度和温度变化等原因，相同标称中心频率的高斯型滤波器的实际中心频率存在一定微小差异，如图 A.2 所示。8 个高斯型滤波器的平均 -1dB 带宽为 $\pm 15.8\text{GHz}$ ，而在 -5dB 处插入损耗变化的斜度为 0.28 dB/GHz 。

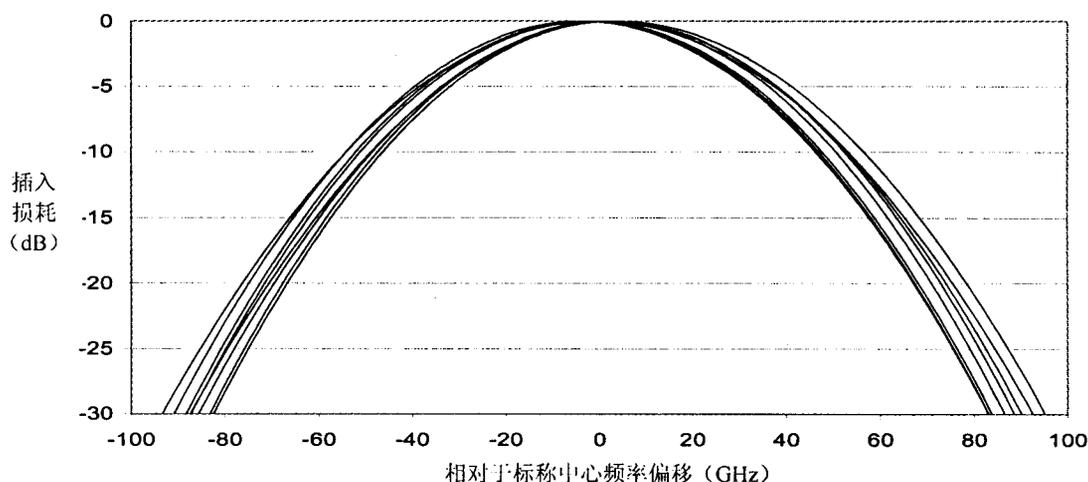


图 A.2 8 个高斯型滤波器滤波函数

当多个滤波器级联时（如 8 个高斯型滤波器级联），等效的滤波器带宽将显著降低，如图 A.3 所示，图 A.2 中 8 个高斯型的滤波器级联后等效滤波器在 -1dB 处的带宽为 $\pm 5.4\text{GHz}$ ， -5dB 处插入损耗变化的斜

度为 0.8dB/GHz，相对于初始的单个滤波器而言，通带显著降低。

和高斯型滤波函数类似，本附录同时分析了 8 个平顶型滤波器级联时的情况。如图 A.4 所示，8 个平顶型滤波器的平均 -1dB 带宽为±39.4GHz，而在 -5dB 处插入损耗变化的斜度为 0.62dB/GHz。

当 8 个平顶型滤波器级联时，如图 A.3 所示，此时的等效滤波器在 -1dB 处的带宽为±22.2GHz，-5dB 处插入损耗变化的斜度为 0.75dB/GHz。和高斯滤波器类似，相对于初始的单个滤波器而言，通带显著降低。

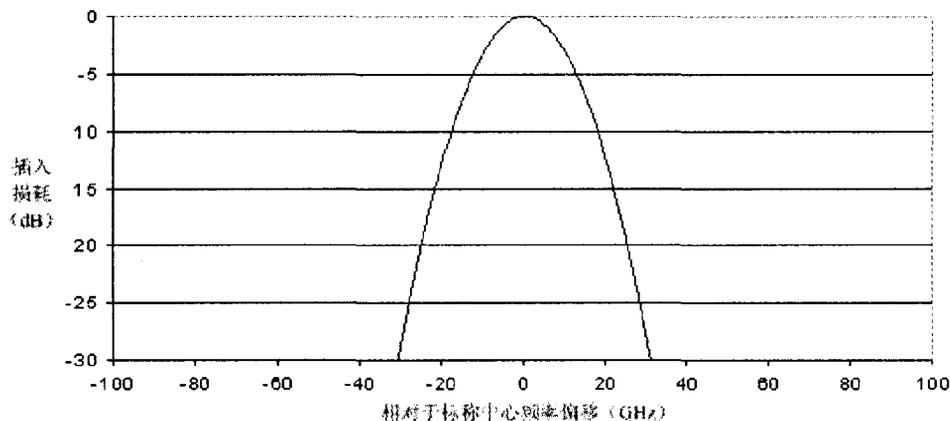


图 A.3 8 个高斯型滤波器级联的等效滤波函数

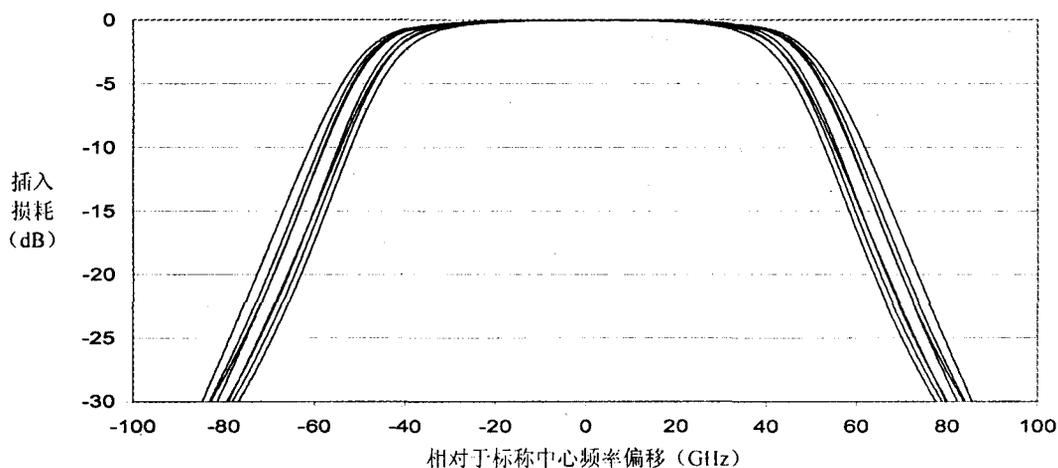


图 A.4 8 个平顶型滤波器滤波函数

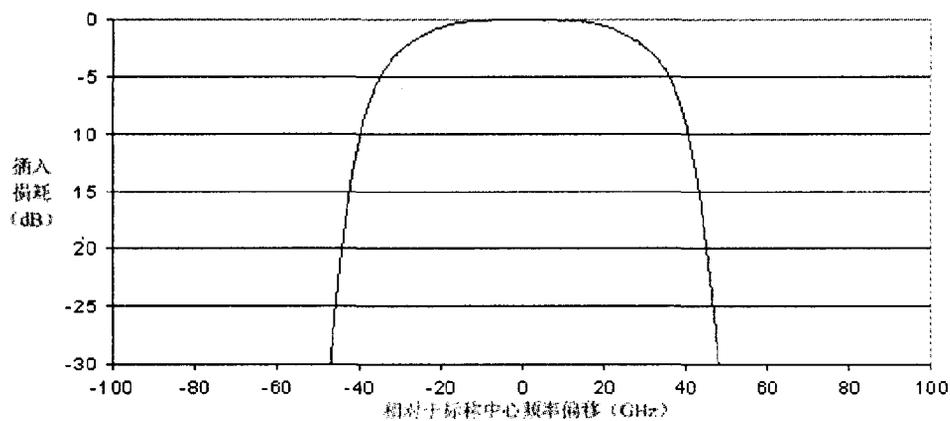


图 A.5 8 个平顶型滤波器级联的等效滤波函数

因此,在 MS-ULH 系统中引入多个 ROADM 节点出现级联时,应注意通道通带降低带来的系统代价,而且对于不同的码型影响可能不同,具体影响差异待研究。

本附录仅讨论滤波器级联时的幅度响应,对于级联相位响应,待研究。

附录 B
(资料性附录)

基于 80/10×10Gbit/s 的 SS-ULH WDM 系统

B.1 系统应用代码定义

80×10Gbit/s 和 10×10Gbit/s 的 SS-ULH WDM 应用代码分别见表 B.1 和表 B.2，其他应用代码待定。

表 B.1 80×10Gbit/s SS-ULH WDM 应用代码

应用代码	基本参数		
	通路间隔 (GHz)	跨段损耗 (dB)	光纤类型
S80.10G50-A652 (C) (E)	50	44	G.652
S80.10G50-B652 (C) (E)	50	55	G.652

注：80×10Gbit/s 的 SS-ULH WDM 系统中放大技术采用（高功率）EDFA、FRA 等结合放大技术

表 B.2 10×10Gbit/s SS-ULH WDM 应用代码

应用代码	基本参数		
	通路间隔 (GHz)	跨段损耗 (dB)	光纤类型
S10.10G100-C652 (C) (E) ^a	100	66	G.652
S10.10G100-D652 (C) (E) ^b	100	77	G.652

注：10×10Gbit/s 的 SS-ULH WDM 系统中放大技术采用（高功率）EDFA、前向喇曼放大、后向喇曼放大、遥泵放大等结合放大技术

a C652 中的 C 表示跨段损耗为 66dB；
b D652 中的 D 表示跨段损耗为 77dB

B.2 系统中心波长

10×10Gbit/s SS-ULH WDM 系统的中心波长见本标准第 5.2.2 节表 4，通路间隔为 100GHz，80×10Gbit/s SS-ULH WDM 系统的中心波长见本标准第 5.2.2 节表 5，通路间隔为 50GHz。

B.3 系统参数要求

B.3.1 S/R 点光接口参数要求

S/R 点光接口参数要求见本标准第 6.1.2.1 节。

B.3.2 主光通道光接口参数要求

待研究。