

中国电信集团公司企业标准

Q/CT X-2012

中国电信 $N \times 100\text{Gbit/s}$ 光波分复用 (WDM)
系统技术要求Technical Requirements for $N \times 100\text{Gbit/s}$ optical wavelength division
multiplexing (WDM) systems of China Telecom

2012-××-××发布

2012-××-××实施

中国电信集团公司 发布

目 次

目次	I
前言	III
中国电信 N×100GBIT/S 光波分复用 (WDM) 系统技术要求	1
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 缩略语、术语和定义	2
3.1 缩略语	2
3.2 术语和定义	3
4 系统分类	3
4.1 N×100Gbit/s WDM 系统分类和应用代码	3
4.2 N×100Gbit/s WDM 系统光波长区的分配	4
5 系统参数要求	7
5.1 参考点定义	7
5.2 主光通道接口参数要求	8
6 OTU 技术要求	11
6.1 OTU 分类	11
6.2 OTU 功能要求	12
6.3 OTU 光接口参数	13
6.4 OTU 抖动特性	14
7 FEC 功能与性能要求	17
8 波分复用器件的技术要求	17
8.1 合波器 (OMU)	17
8.2 分波器 (ODU)	17
8.3 梳状滤波器	18
8.4 多级合波分波器 (可选)	18
9 放大器的技术要求	19
10 动态功率控制和增益均衡技术要求	19
11 OADM 技术要求	19
11.1 OADM 接口指标及类型	20
11.2 OADM 功能要求	20
12 系统监控通路技术要求	21
12.1 OSC 通路技术要求	21
12.2 ESC 通路技术要求 (可选)	21

13 传输功能和性能要求	21
13.1 保护倒换功能	21
13.2 不中断业务监测功能	23
13.3 误码/丢包率性能	23
13.4 抖动性能	23
14 电源电压容限范围	24
15 网络管理系统技术要求	24
16 APR 进程要求	24
17 同步传输要求	24
17.1 频率同步	24
17.2 时间同步	24
A	26
附 录 A （资料性附录） RN 参考点纠错前误码率（PRE-FEC）指标分析	26
A.1 背景	26
A.2 理论基础	26
A.3 指标要求	27
B	29
B	29
附 录 B （资料性附录） 前向纠错（FEC）算法的编码增益（CG）和净编码增益(NCG)	29
B.1 理论基础	29
B.2 示例	29
参考文献	30

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准是中国电信N×100Gbit/s光波分复用(WDM)技术的系列标准之一,该系列标准的结构及名称预计如下:

- a) 中国电信 N×100Gbit/s 光波分复用(WDM)系统技术要求标准;
- b) 中国电信 N×100Gbit/s 光波分复用(WDM)系统测试方法标准。

本标准为以我国通信行业标准YDN 120-1999《光波分复用系统总体技术要求(暂行规定)》、YD/T 1143-2001《光波分复用系统(WDM)技术要求—16×10Gb/s、32×10Gb/s部分》、YD/T 1274-2003《光波分复用系统(WDM)技术要求—160×10Gb/s、80×10Gb/s部分》、YD/T 1991-2009《N×40Gbit/s光波分复用(WDM)系统技术要求》、《N×100Gbit/s光波分复用(WDM)系统技术要求》(报批稿)等标准为基础,对单通路速率为100Gbit/s WDM系统在C波段传输系统提出了具体的要求。

本标准包含中国电信的专利等知识产权,相关厂商需经中国电信授权方可使用本标准。

本标准由中国电信集团公司提出并归口。

本标准起草单位:本标准由中国电信集团公司技术部组织制定,中国电信股份有限公司北京研究院起草。

本标准主要起草人:李俊杰、杨玉森、霍晓莉、张成良、王作强、荆瑞泉、王宪忠。

本标准于2013年6月首次发布。

中国电信 $N \times 100\text{Gbit/s}$ 光波分复用 (WDM) 系统技术要求

1 范围

本标准规定了单通路速率为 100Gbit/s 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、OTU技术要求、FEC功能与性能要求、波分复用器件的技术要求、光放大器技术要求、动态功率控制和增益均衡技术要求、OADM技术要求、系统监控通路技术要求、传输功能和性能要求、网络管理系统技术要求和APR进程要求等。

本标准适用于单通道速率为 100Gbit/s , 基于光相干接收PM-(D)QPSK调制码型, 工作在C波段 50GHz 波长间隔的WDM系统, 100GHz 波道间隔的WDM系统参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件, 仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件, 其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- YD/T 1259-2003 波分复用系统(WDM)光安全进程技术要求
- 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 1383-2005 波分复用(WDM)网元管理系统技术要求
- YD/T 1462-2011 光传送网(OTN)接口
- YD/T 1990-2009 光传送网(OTN)网络总体技术要求
- YD/T 1991-2009 $N \times 40\text{Gbit/s}$ 光波分复用(WDM)系统技术要求
- YD/T ****-**** $N \times 100\text{Gbit/s}$ 光波分复用(WDM)系统技术要求(报批稿)
- 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(Characteristics of a single-mode optical fibre and cable)
- ITU-T G. 655 非零色散单模光纤光缆的特性(Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable)
- ITU-T G. 691 有光放大器 SDH 单通路系统和 STM-64 系统的光接口(Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers)
- ITU-T G. 693 局内光接口要求(Optical interfaces for intra-office systems)
- ITU-T G. 798 光传送网体系设备的功能块特性(Characteristics of optical transport network hierarchy equipment functional blocks)
- ITU-T G. 959.1 光传输网络物理光接口(Optical transport network physical layer interfaces)
- ITU-T G. 975 高比特率 DWDM 海底系统的前向纠错(Forward error correction for submarine systems)
- ITU-T G. 975.1 高速率 DWDM 海缆系统前向纠错的要求(Forward error correction for high bit rate DWDM submarine systems)
- IEEE 802.3-2012 局域和城域网络标准协议第三部分: 基于冲突检测的载波侦听多路接入

(CSMA/CD) 方案和物理层指标 (Local and metropolitan area networks Specific requirements Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications Local Area Network (LAN) protocols)

10×10 MSA Rev 2.5 10×10 多源协议 (MSA) 技术规范—2km、10km、40km 光参数 (10X10 MSA Technical Specifications, 2km, 10km and 40km Optical Specifications)

3 缩略语、术语和定义

3.1 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

缩略语	英文全称	中文全称
3R	Reamplification, Reshaping and Retiming	重放大、重整形和重定时
AIS	Alarm Indication Signal	告警指示信号
APR	Automatic Power Reduction	自动功率减少
BER	Bit Error Ratio	比特差错率(误码率)
BOL	Beginning Of Life	寿命开始
CG	Coding Gain	编码增益
DCC	Data Communications Channel	数据通信通路
DCM	Dispersion Compensation Module	色散补偿模块
DEG	Degraded defect	劣化缺陷
DSP	Digital Signal Processing	数字信号处理
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	密集波分复用
EDFA	Er-doped Fiber Amplifier	掺铒光纤放大器
EFEC	Enhanced Forward Error Correction	增强型前向纠错
EOL	End Of Life	寿命终了
ERFC	Complementary Error Function	互补误差函数
ESC	Electronical Supervisory Channel	电监控通道
EXC	Excessive	越限
FEC	Forward Error Correction	前向纠错
FOADM	Fixed Optical Add-Drop Multiplexer	固定上下光分插复用器
GCC	General Communication Channel	通用通信信道
GFEC	Generic Forward Error Correction	通用前向纠错
LCK	Locked defect	锁定缺陷
LOF	Loss Of Frame	帧丢失
LOS	Loss Of Signal	信号丢失
MSA	Multiple Source Agreement	多源协议
NCG	Net Coding Gain	净编码增益
OA	Optical Amplifier	光放大器
OADM	Optical Add-Drop Multiplexer	光分插复用器
OCI	Open Connection Indication	开放连接指示
ODU	Optical De-multiplexer Unit	光分波单元

缩略语	英文全称	中文全称
ODUk	Optical Channel Data Unit-k	光通路数据单元k
OMSn	Optical Multiplex Section of level n	n阶光复用段
OMU	Optical Multiplexer Unit	光合波单元
OSC	Optical Supervisory Channel	光监控通道
OSNR	Optical Signal Noise Ratio	光信噪比
OTN	Optical Transport Network	光传送网
OTSn	Optical Transmission Section of level n	n阶光传输段
OTU	Optical Transponder Unit	光波长转换单元
OTUk	Completely standardized Optical Channel Transport Unit-k	完全标准化光通路传送单元-k
PM	Path Monitoring	通道监视
PMD	Polarization Mode Dispersion	偏振模色散
PM-(D)QPSK	Polarization Multiplexing-(Differential) Quadrature Phase Shift Keying	偏振复用差分正交相移键控
ROADM	Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer	可重构光分插复用器
RS	Reed-Solomon	里德-所罗门（编码）
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	同步数字体系
SD	Signal Degraded	信号劣化
SM	Section Monitoring	段监视
SNCP	Sub-Network Connection Protection	子网连接保护
TIM	Trail trace identifier mismatch	路径踪迹标识符失配
WDM	Wavelength Division Multiplexing	波分复用

3.2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.2.1

偏振复用(差分)正交相移键控 Polarization Multiplexing-(Differential) Quadrature Phase Shift Keying

通过光信号两个正交偏振态的复用和正交（差分）相移键控的调制码型来传输高速信号。

3.2.2

光相干接收 Optical Coherent Receiver

在接收设备中利用本地光载波与同频的光载波信号进行相干混频，检测并接收载波信号的相位信息。

4 系统分类

4.1 N×100Gbit/s WDM 系统分类和应用代码

$N \times 100\text{Gbit/s}$ WDM 系统的应用代码，如下：

Mn. Bc-xW-D-z (S)

其中：

M 表示多跨段 100Gbit/s 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：

——100G：表示 WDM 系统单通路速率为 $100\text{Gbit/s} \sim 130\text{Gbit/s}$ ，随着 FEC 开销的增加，此速率值上限可能进一步增大。

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；

——其它跨段待定；

D 表示 WDM 系统是否有线路色散补偿：

——1：表示有线路色散补偿；

——0：表示无线路色散补偿；

z 表示 WDM 系统所支持的光纤类型：

——652：表示光纤为 ITU-T G. 652 类型；

——655：表示光纤为 ITU-T 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

——L：表示工作波段为 L 波段

表 1 为 $N \times 100\text{Gbit/s}$ WDM 系统的应用代码示例。

表1 $N \times 100\text{Gbit/s}$ WDM 应用代码示例

基本参数应用代码	通路间隔 (GHz)	跨段损耗	光纤类型	线路色散补偿
M80. 100G50-18A-0-652 (C)	50	$18 \times 22\text{dB}$	G. 652	无
M80. 100G50-14A-0-652 (C)	50	$14 \times 22\text{dB}$	G. 652	无
M80. 100G50-14A-1-652 (C)	50	$14 \times 22\text{dB}$	G. 652	有
M80. 100G50-10A-1-652 (C)	50	$10 \times 22\text{dB}$	G. 652	有
M80. 100G50-16A-0-655 (C)	50	$16 \times 22\text{dB}$	G. 655	无
M80. 100G50-10A-0-655 (C)	50	$10 \times 22\text{dB}$	G. 655	无
M80. 100G50-14A-1-655 (C)	50	$14 \times 22\text{dB}$	G. 655	有
M80. 100G50-10A-1-655 (C)	50	$10 \times 22\text{dB}$	G. 655	有

4.2 $N \times 100\text{Gbit/s}$ WDM 系统光波长区的分配

$N \times 100\text{Gbit/s}$ WDM 系统采用常用的 C 波段 1550nm 窗口。标称中心频率基于参考频率 193.1THz, 最小频率间隔为 100GHz 或 50GHz。可支持 100GHz 和 50GHz 的频率间隔的 40 波（见表 2）和 80 波（见表 3）WDM 系统。

表2 基于 C 波段的 40 通路(100GHz 间隔) $N \times 100\text{Gbit/s}$ 设备波长分配方案

C 波段 编号	间隔 100GHz 的标称中心 频率 (THz)	标称中心波 长 (nm)	C 波段编 号	间隔 100GHz 的标称中 心频率 (THz)	标称中心波 长 (nm)
1 ^a	196.20	1527.99	27	193.60	1548.51
2 ^a	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
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 ^a	192.00	1561.42
18	194.50	1541.35	44 ^a	191.90	1562.23
19	194.40	1542.14	45 ^a	191.80	1563.05
20	194.30	1542.94	46 ^a	191.70	1563.87
21	194.20	1543.73	47 ^a	191.60	1564.68
22	194.10	1544.53	48 ^a	191.50	1565.50
23	194.00	1545.32	49 ^a	191.40	1566.32
24	193.90	1546.12	50 ^a	191.30	1567.14
25	193.80	1546.92	51 ^a	191.20	1567.95
26	193.70	1547.72	52 ^a	191.10	1568.77
注:波长序号与波长的具体对应关系仅用来区分波长,不作为规范;					
^a 为可扩展波长,48 波系统配置可选波长					

表3 基于 C 波段的 80 通路(50GHz 间隔)N×100Gbit/s 设备波长分配方案

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 ^a	196.25	1527.61	53	193.65	1548.11
2 ^a	196.20	1527.99	54	193.60	1548.51
3 ^a	196.15	1528.38	55	193.55	1548.91
4 ^a	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
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

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)
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 ^a	192.05	1561.01
34	194.60	1540.56	86 ^a	192.00	1561.42
35	194.55	1540.95	87 ^a	191.95	1561.83
36	194.50	1541.35	88 ^a	191.90	1562.23
37	194.45	1541.75	89 ^a	191.85	1562.64
38	194.40	1542.14	90 ^a	191.80	1563.05
39	194.35	1542.54	91 ^a	191.75	1563.46
40	194.30	1542.94	92 ^a	191.70	1563.87
41	194.25	1543.33	93 ^a	191.65	1564.27
42	194.20	1543.73	94 ^a	191.60	1564.68
43	194.15	1544.13	95 ^a	191.55	1565.09
44	194.10	1544.53	96 ^a	191.50	1565.50
45	194.05	1544.92	97 ^a	191.45	1565.91
46	194.00	1545.32	98 ^a	191.40	1566.32
47	193.95	1545.72	99 ^a	191.35	1566.73
48	193.90	1546.12	100 ^a	191.30	1567.14
49	193.85	1546.52	101 ^a	191.25	1567.54
50	193.80	1546.92	102 ^a	191.20	1567.95
51	193.75	1547.32	103 ^a	191.15	1568.36
52	193.70	1547.72	104 ^a	191.10	1568.77
注:波长序号与波长的具体对应关系仅用来区分波长,不作为规范;					
^a 为可扩展波长, 96 波系统配置可选波长					

5 系统参数要求

5.1 参考点定义

N×100Gbit/s WDM 系统的参考配置如图 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(可包含色散补偿功能); 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。

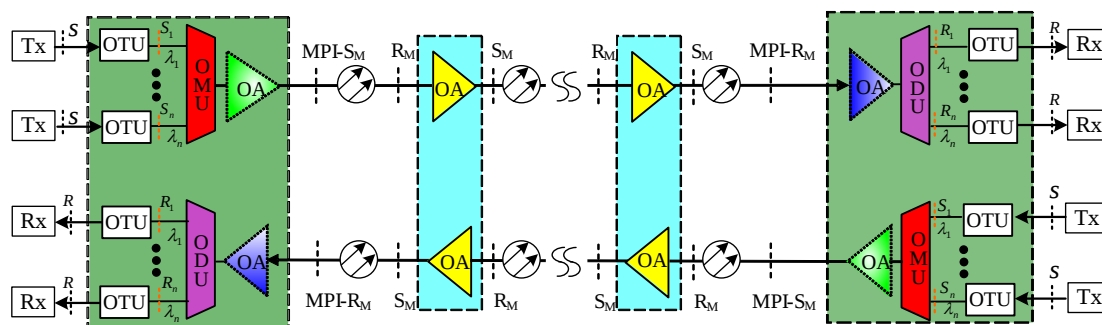


图1 100Gbit/s WDM 系统参考配置

图1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N×100Gbit/s WDM系统与客户系统的接口参考点；MPI-S_M、R_M、S_M、MPI-R_M是N×100Gbit/s WDM系统主光通道的参考点；S_n、R_n是N×100Gbit/s 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（Tx）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（Rx）之前光纤连接处的参考点。

5.2 主光通道接口参数要求

主光通道接口参数见表4、表5：

表4 N×100Gbit/s WDM 系统主光通道参数（无DCM）

参数名称	单位	参数值			
基本参数					
——应用代码	— —	M80. 100G50-18A-0-652 (C)	M80. 100G50-14A-0-652 (C)	M80. 100G50-16A-0-655 (C)	M80. 100G50-10A-0-655 (C)
——跨段损耗	n×W dB	18×22	14×22	16×22	10×22
——通路数	个	80	80	80	80
——调制格式		偏振复用(差分)正交相移键控			
——比特速率 ^a	Gbit/s	100~130			
MPI-S _M / S _M 点参数					
每通路输出功率 (平均功率)	dBm	+1	+1	0	0

参数名称	单位	参数值			
——最大	dBm	+4	+4	+3	+3
——最小	dBm	-2	-2	-3	-3
MPI-S _M 点最大通路功率差	dB	6	6	6	6
最大总发送功率	dBm	20	20	19	19
光通道 (MPI-S_M~MPI-R_M) 参数					
最大残余色散 ^b	ps/nm	29000	23000	13000	8000
最大离散反射	dB	-27	-27	-27	-27
MPI-S _M 点最小回损	dB	24	24	24	24
典型衰减值	dB	22	22	22	22
MPI-R_M/ R_M 点参数					
每通路输入功率 (平均功率)	dBm	-21	-21	-22	-22
——最大	dBm	-18	-18	-19	-19
——最小	dBm	-24	-24	-25	-25
MPI-R _M 点最大通路功率差	dB	6	6	6	6
MPI-R _M 点每通路最小光信噪比 ^c	dB	18	19.5	18	19
最大总接收功率	dBm	-2	-2	-3	-3
接收机光信噪比容限 (EOL) ^d	dB	13	14.5	13	14.5
光通道 OSNR 代价	dB	<2	<2	<2	<2
光通道最大前纠错率 (BOL) ^e	——	1.0E-3	7.0E-5 或 3.0E-4	1.0E-3	7.0E-5 或 3.0E-4
FEC 纠错容限范围 ^e	——	1.5E-2 (含) ~ 2.5E-2	3.5E-3 (含) ~ 6.0E-3 或 8.0E-3 (含) ~ 1.5E-2	1.5E-2 (含) ~ 2.5E-2	3.5E-3 (含) ~ 6.0E-3 或 8.0E-3 (含) ~ 1.5E-2
^a FEC 技术存在多种解决方案, 目前用于 100Gbit/s WDM 系统的已商用 FEC 技术编码冗余最大约为 21%, 对应的线路速率约为 127Gbit/s, 因此本标准定义的最高单波速率为 130Gbit/s, 更高线路速率的系统待研究; ^b 按照单跨段长度 80km、G. 652 光纤色散系数 20ps/nm*km、G. 655 光纤色散系数 10ps/nm*km 等参数计算, 并以 1000ps 为单位向上取整; ^c 小于或等于 12×22dB 的系统 OSNR 裕量指标为 4.5dB, 大于 12×22dB 的系统 OSNR 裕量指标为 5dB; ^d 接收机光信噪比容限 (EOL) 在接收机光信噪比容限 (BOL) 基础上须提供不低于 0.5dB 的老化裕量。					

参数名称	单位	参数值
° 光通道最大纠错前误码率要求对应不同的 FEC 纠错容限：1.0E-3 对应纠错容限为 1.5E-2(含)~2.5E-2；7.0E-5 对应纠错容限为 3.5E-3(含)~6.0E-3；3.0E-4 对应纠错容限为 8.0E-3(含)~1.5E-2。纠错前误码率（Pre-FEC）指标分析参见附录 A。达到 1.5E-2(含)~2.5E-2 的纠错容限，一般采用软判决 FEC（SD FEC）实现，达到 3.5E-3(含)~6.0E-3 或 8.0E-3(含)~1.5E-2 的纠错容限，采用硬判决 FEC（HD FEC）即可实现。		

无 DCM 的 N×100Gbit/s WDM 系统可与相干接收 N×40Gbit/s WDM 系统混传，相应的 100Gbit/s、40Gbit/s 光通道主光通道参数要求待研究；不推荐无 DCM 的 N×100Gbit/s WDM 系统与 N×10Gbit/s WDM 系统以及非相干接收 N×40Gbit/s WDM 系统混传。

表5 N×100Gbit/s WDM 系统主光通道参数（有 DCM）

参数名称	单位	参数值			
基本参数					
——应用代码	— —	M80. 100G50-14A-1-652 (C)	M80. 100G50-10A-1-652 (C)	M80. 100G50-14A-1-655 (C)	M80. 100G50-10A-1-655 (C)
——跨段损耗	n×W dB	14×22	10×22	14×22	10×22
——通路数	个	80	80	80	80
——调制格式		偏振复用(差分)正交相移键控			
——比特速率 ^a	Gbit/s	100~130			
MPI-S _M / S _M 点参数					
每通路输出功率(平均功率)	dBm	+1	+1	0	0
——最大	dBm	+4	+4	+3	+3
——最小	dBm	-2	-2	-3	-3
MPI-S _M 点最大通路功率差	dB	6	6	6	6
最大总发送功率	dBm	20	20	19	19
光通道(MPI-S _M ~MPI-R _M)参数					
最大残余色散	ps/nm	待研究			
最大离散反射	dB	-27	-27	-27	-27
MPI-S _M 点最小回损	dB	24	24	24	24
典型衰减值	dB	22	22	22	22
MPI-R _M / R _M 点参数					
每通路输入功率(平均功率)	dBm	-21	-21	-22	-22

参数名称	单位	参数值			
——最大	dBm	-18	-18	-19	-19
——最小	dBm	-24	-24	-25	-25
MPI-R _u 点最大通路功率差	dB	6	6	6	6
MPI-R _u 点每通路最小光信噪比 ^b	dB	18	19	18	19
最大总接收功率	dBm	-2	-2	-3	-3
接收机光信噪比容限(EOL) ^c	dB	13	14.5	13	14.5
光通道 OSNR 代价	dB	<2	<2	<2	<2
光通道最大纠错码率(BOL) ^d	——	1.0E-3	7.0E-5 或 3.0E-4	1.0E-3	7.0E-5 或 3.0E-4
FEC 纠错容限范围 ^d	——	1.5E-2(含)~ 2.5E-2	3.5E-3(含)~ 6.0E-3 或 8.0E-3(含)~ 1.5E-2	1.5E-2(含)~2.5E-2	3.5E-3(含)~ 6.0E-3 或 8.0E-3(含)~ 1.5E-2

^a FEC 技术存在多种解决方案, 目前用于 100Gbit/s WDM 系统的已商用 FEC 技术编码冗余最大大约是 21%, 对应的线路速率约为 127Gbit/s, 因此本标准定义的最高单波速率为 130Gbit/s, 更高线路速率的系统待研究;

^b 小于或等于 12×22dB 的系统 OSNR 裕量指标为 4.5dB, 大于 12×22dB 的系统 OSNR 裕量指标为 5dB;

^c 接收机光信噪比容限(EOL)在接收机光信噪比容限(BOL)基础上须提供不低于 0.5dB 的老化裕量。

^d 光通道最大纠错码率要求对应不同的 FEC 纠错容限: 1.0E-3 对应纠错容限为 1.5E-2(含)~2.5E-2; 7.0E-5 对应纠错容限为 3.5E-3(含)~6.0E-3; 3.0E-4 对应纠错容限为 8.0E-3(含)~1.5E-2。纠错前误码率(Pre-FEC)指标分析参见附录 A。达到 1.5E-2(含)~2.5E-2 的纠错容限, 一般采用软判决 FEC(SD FEC)实现, 达到 3.5E-3(含)~6.0E-3 或 8.0E-3(含)~1.5E-2 的纠错容限, 采用硬判决 FEC(HD FEC)即可实现。

有 DCM 的 N×100Gbit/s WDM 系统与相位调制 N×40Gbit/s WDM 系统混传时, 100Gbit/s 光通道主光通道参数要求参照表 5, 40Gbit/s 光通道主光通道参数见 YD/T 1991-2009 第 6 章; 不推荐有 DCM 的 N×100Gbit/s WDM 系统与 N×10Gbit/s WDM 系统以及非相位调制的 N×40Gbit/s WDM 系统混传。

6 OTU 技术要求

6.1 OTU 分类

OTU 分为收发一体型 OTU (见图 2)、子速率复用型 OTU (见图 3) 和中继型 OTU (见图 4) 等 3 种, 相关 OTU 外部参考点 S/R 定义见图 1。OTU 的具体形态包括支线路合一和支线路分离两种: 其中支线路合一 OTU 在单块板上实现 OTU 的全部功能; 支线路分离 OTU 分成支路侧和线路侧两部分, 之间通过背板直接连接或通过交叉连接模块连接。支线路合一 OTU 和支线路分离 OTU 的功能要求、光接口参数、抖动指标均要求满足本章要求。

收发一体型OTU可接入100GE和OTU4等客户业务。支线路合一收发一体型OTU和支线路分离收发一体型OTU接入的客户业务要求相同。

子速率复用型OTU可接入STM-64/256、10GE/40GE、OTU2/3等客户业务，其中支线路分离子速率复用型OTU还可接入STM-16、GE、OTU1等客户业务。

中继型OTU实现OTU4线路业务的电再生。

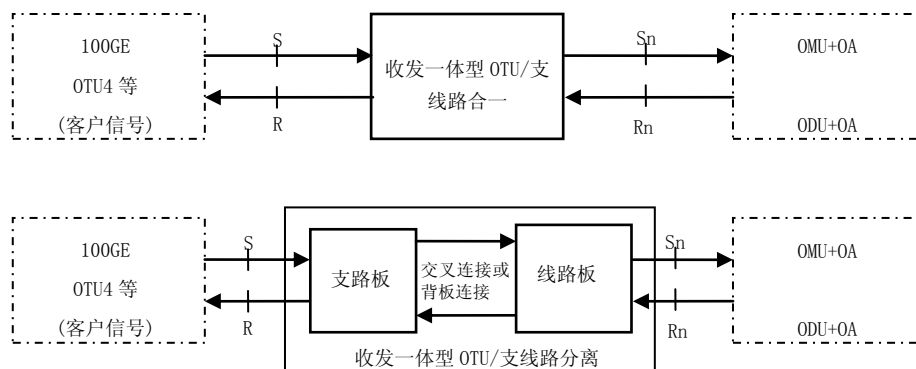


图2 收发一体型 OTU

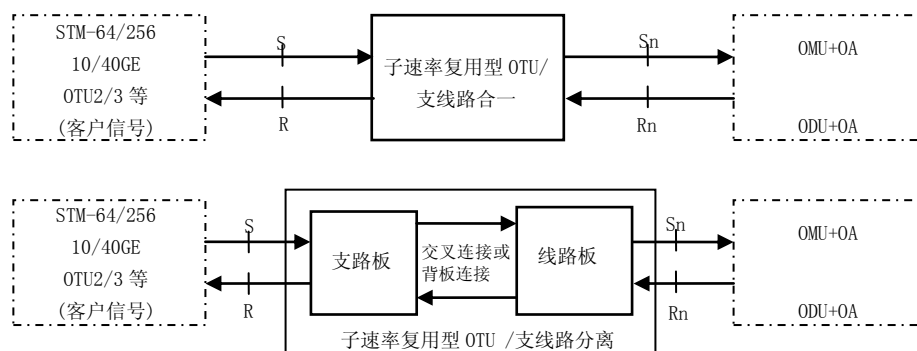


图3 子速率复用型 OTU

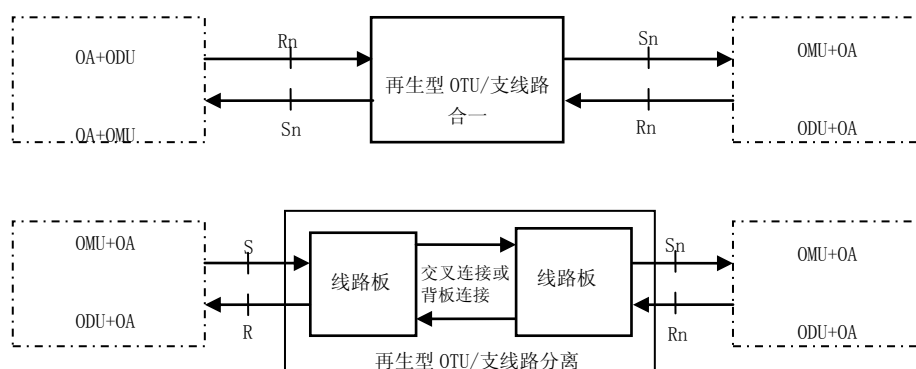


图4 中继型 OTU

6.2 OTU 功能要求

6.2.1 收发一体型 OTU

支持 100GE/OTU4 客户业务映射到 OTU4/OTU4[V]，从 OTU4/OTU4[V]解映射到 100GE/OTU4 等功能；映射/解映射过程应符合 YD/T 1462-2011 第 17 章；OTN 开销处理应符合 ITU-T G. 798；100GE 开销处理符合 IEEE802.3 (2012) 标准。

客户侧 OTU4 和线路侧 OTU4/OTU4[V]应支持开启/关闭 FEC 功能，其中客户侧 OTU4 应采用 ITU-T G. 975 定义的 RS(255, 239)算法，本标准不规定线路侧 OTU4/OTU4[V]采用的 FEC 算法。

6.2.2 子速率复用型 OTU

子速率复用型 OTU 的详细映射路径，及 OTN 开销处理应符合 YD/T 1462-2011 第 17 章及 ITU-T G. 798。GE/10GE/40GE 开销处理符合 IEEE802.3 (2012) 标准。

客户侧 OTU1/2/3 和线路侧 OTU4/OTU4[V]应支持开启/关闭 FEC 功能，其中客户侧 OTU1/2/3 应采用 ITU-T G. 975 定义的 RS(255, 239)算法，本标准不规定线路侧 OTU4/OTU4[V]采用的 FEC 算法。

6.2.3 中继型 OTU

中继型 OTU 完成 OTU4/OTU4[V]业务的中继功能。

OTN 开销处理应符合 ITU-T G. 798。

支持开启/关闭 FEC 功能，本标准不规定 FEC 算法。

6.3 OTU 光接口参数

对于 OTU S/R 侧的光接口参数，应满足 ITU-T G. 691、ITU-T G. 693、ITU-T G. 959.1、IEEE 802.3 (2012)、10×10 MSA Rev2.5 技术规范等规范定义的一种或者多种光接口标准。

对于 Sn/Rn 侧的光接口参数，见表 6。

表6 OTU 的 Sn/Rn 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
调制格式	—	偏振复用(差分)正交相移键控
OTU发送端S_n点参数		
光谱特性	—	
——最大-20dB 谱宽	nm	1
——最小边模抑制比	dB	35
平均发送功率	—	
——最大	dBm	+5
——最小	dBm	-5
眼图模板	—	待研究
最小消光比	dB	NA
中心频率	—	
——标称中心频率	THz	见表 3

参数名称	单位	参数值
——最大中心频率偏移	GHz	± 2.5
OTU 接收端 R_n 点参数		
接收机最差灵敏度	dBm	-14
接收机最小过载	dBm	0
接收机最大反射系数	dB	-27
接收机可接收波长范围	nm	见表 3
最小色散容纳值(1dB OSNR 代价) ^a	ps/nm	≥ 30000
最小差分群时延容限(1dB OSNR 代价)	ps	≥ 75
^a 实际传输系统一般处于正色散, 故此处定义了最大正色散容纳值, 最大负色散容纳值参考值不作规范。		

6.4 OTU 抖动特性

6.4.1 抖动产生

STM-64/256、OTU2/3等业务的抖动产生参数满足YD/T 1991-2009第7章。

STL-256.4的抖动产生参数待研究。

OTL3.4、OTL4.4的抖动产生参数要求见表7、表8。

表7 OTU 抖动产生指标 (ODCa, ODCb 和 ODCr)

接口类型	测量带宽		峰-峰抖动值 (UIpp)
	低通 (Hz)	高通 (Hz)	
OTL3.4	20 k	80 M	1.2
	4 M 4 阶 Bessel-Thomson 滤波器定义 见 IEEE 802.3(2012)第 87.8.9 章节		每通道定义见 IEEE 802.3(2012)第 87.7.1、 表 87-7、87.8.9 章节
OTL4.4	50 k	200 M	1.2
	10 M 4 阶 Bessel-Thomson 滤波器定义 见 IEEE 802.3(2012)第 88.8.8 章节		每通道定义见 IEEE 802.3(2012)第 88.7.1、 表 88-7、88.8.8 章节

表8 OTU 抖动产生指标 (ODCp)

接口类型	测量带宽		峰-峰抖动值 (UIpp)
	低通 (Hz)	高通 (Hz)	
40GE、ODU3 多通道	20 k	80 M	1.0
	4 M 4 阶 Bessel-Thomson 滤波器定义 见 IEEE 802.3(2012)第 87.8.9 章节		每通道定义见 IEEE 802.3(2012)第 87.7.1、 表 87-7、87.8.9 章节

接口类型	测量带宽		峰-峰抖动值 (UIpp)
	低通 (Hz)	高通 (Hz)	
100GE	50 k	200 M	1.0
	10 M 4 阶 Bessel-Thomson 滤波器定义 见 IEEE 802.3(2012)第 88.8.8 章节		每通道定义见 IEEE 802.3(2012)第 88.7.1、 表 88-7、88.8.8 章节

6.4.2 输入抖动容限

STM-64/256、OTU2/3等业务的输入抖动容限参数满足YD/T 1991-2009第7章。

STL-256.4的输入抖动容限参数待研究。

OTL3.4每通道输入抖动容限应满足表9、图5要求。

表9 OTL3.4 每通道输入抖动容限

频率 f (Hz)	峰峰抖动值(UIpp)
$2\text{ k} < f \leq 20\text{ k}$	$1.2 \times 10^5 f^{-1}$
$20\text{ k} < f \leq 33\text{ k}$	6.0
$33\text{ k} < f \leq 4$ 阶 Bessel-Thomson 滤波器定义见 IEEE 802.3(2012)第 87.8.9 章节	每通道定义见 IEEE 802.3(2012)第 87.7.2、表 87-8、87.8.11 章节

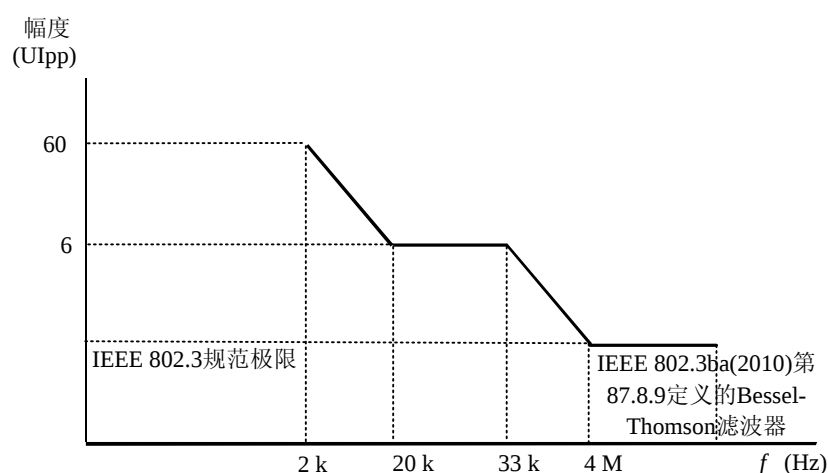


图5 OTL3.4 每通道输入抖动容限

OTL4.4每通道输入抖动容限应满足表10、图6要求。

表10 OTL4.4 每通道输入抖动容限

频率 f (Hz)	峰峰抖动值(UIpp)
-------------	-------------

$20\text{ k} < f \leq 50\text{ k}$	$3 \times 10^5 f^{-1}$
$50\text{ k} < f \leq 83\text{ k}$	6.0
$83\text{ k} < f \leq 4$ 阶Bessel-Thomson滤波器定义见IEEE 802.3(2012)第88.7.2、表88.8.8章节	每通道定义见IEEE 802.3(2012)第88.7.2、表88-8、88.8.10章节

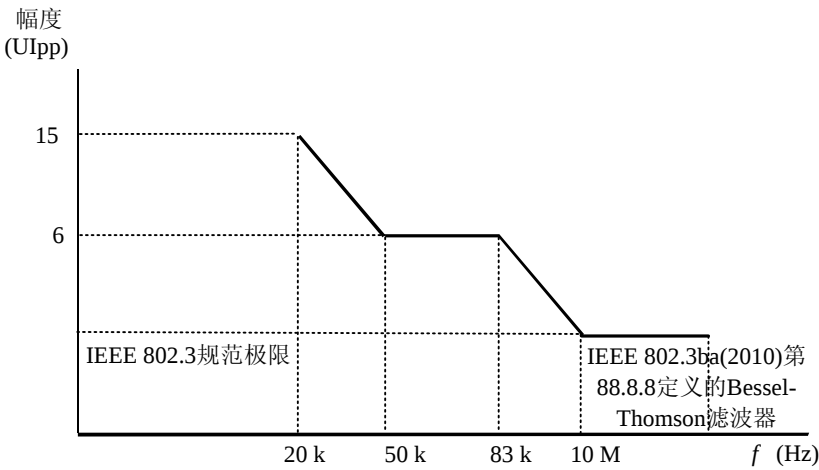


图6 OTL4.4 每通道输入抖动容限

6.4.3 抖动转移特性

STM-64/256、OTU2/3等业务的抖动转移特性参数满足YD/T 1991-2009第7章。
OTU4的抖动转移特性见表11。

表11 抖动转移特性指标（ODCr）

接口类型	测量带宽			抖动增益 P (dB)
	f_L (kHz)	f_C (kHz)	f_H (MHz)	
OTU4	100	10000	800	0.1

6.4.4 以太网业务抖动特性

对于10GE业务，抖动特性应满足IEEE 802.3(2008)第68章要求。
对于40GE业务，抖动特性应满足IEEE 802.3(2012)第86、87章要求。
对于100GE业务，抖动特性应满足IEEE 802.3(2012)第86、88章要求。

6.4.5 10×10 MSA 接口抖动特性

对于通过10×10 MSA接口接入的100GE、OTU4业务的抖动特性应满足10X10 MSA Rev 2.5第2、3、4章要求。

7 FEC 功能与性能要求

对于 $N \times 100\text{Gbit/s}$ WDM系统, 可以采用RS(255, 239)通用型FEC(GFEC)编码、7%开销的增强型FEC(EFEC)编码或者其它更高增益的超强FEC编码技术。

对于EFEC, 可参照ITU-T G. 975.1 中的实现方式, 具体方案暂不规定。对于EFEC, 线路随机误码的纠错容限典型值为 $2\text{E}-3$, 编码增益(CG)和净编码增益(NCG)等参数参见附录B。

对于更高增益的超强FEC: 7%开销(OH)的硬判决FEC(HD FEC)的线路随机误码纠错容限典型值为 $4\text{E}-3$, 若采用更高的开销, HD FEC纠错能力还有进一步提升的空间; 20%开销(OH)的软判决FEC(SD FEC)的线路随机误码纠错容限典型值为 $2\text{E}-2$, 随着算法的改进, SD FEC的纠错能力还有进一步提升的空间; 上述FEC算法的编码增益(CG)和净编码增益(NCG)等参数典型值参见附录B。

设备应支持FEC开启/关闭功能、纠错前后误码率检测、纠错性能统计等功能, 支持纠前误码率(Pre-FEC BER)在线监测功能, 精度要求待研究。

8 波分复用器件的技术要求

8.1 合波器(OMU)

C波段40/80波合波器参数见表12:

表12 合波器参数要求

项目	单位	40 通路指标	80 通路指标
通道间隔	GHz	100	50
插入损耗	dB	<10	<10
光反射系数	dB	>40	>40
工作波长范围	nm	见表 2	见表 3
偏振相关损耗	dB	<0.5	<0.5
相邻通路隔离度	dB	>22	>22
非相邻通路隔离度	dB	>25	>25
各通路插损的最大差异	dB	<3	<3
器件 PMD	ps	<0.5	<0.5

8.2 分波器(ODU)

C波段40/80波分波器参数见表13:

表13 分波器参数要求

项目	单位	40 通路指标	80 通路指标
通路间隔	GHz	100	50
插入损耗	dB	<8	<8

项目	单位	40 通路指标	80 通路指标
光反射系数	dB	40	40
相邻通路隔离度	dB	>22	>25
非相邻通路隔离度	dB	>25	>25
偏振相关损耗	dB	0.5	0.5
各通路插损的最大差异	dB	<2	<2
温度特性	nm/°C	待定	待定
-1dB 带宽	nm	>0.2	>0.2
-20dB 带宽	nm	<1.2	<0.6
器件 PMD	ps	<0.5	<0.5

8.3 梳状滤波器

实现 50GHz 间隔复用，可用梳状滤波器或 50GHz 间隔的合/分波器来实现。50GHz/100GHz 梳状滤波器参数见表 14。

表14 50GHz/100GHz 梳状滤波器参数要求

项目	单位	指标
C 波段波长范围 ^a	nm	100GHz 波长间隔 C 波段 40 波: 1529.55~1560.61 50GHz 波长间隔 C 波段 80 波: 1529.16~1560.61
输入光功率范围	dBm	<23
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	<3
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
-1dB 带宽	nm	>0.1
-20dB 带宽	nm	待研究
器件 PMD	ps	0.5
^a 扩展波长范围见表 2、表 3 注释 ^a 。		

8.4 多级合波分波器（可选）

待研究。

9 放大器的技术要求

本标准放大器如无特殊说明，均指掺铒光纤放大器（EDFA）。

对于无 DCM 系统，以及 ITU-T G. 655 光纤有 DCM 系统中未配置 DCM 的光线路放大器，要求采用为相干 100Gbit/s WDM 系统优化的低噪声 EDFA 放大器，在正常输入、输出光功率，增益 22dB 以上条件下，C 波段各波道噪声系数要求低于 5dB。

光放大器的其它技术参数见 YD/T 1274-2003 第 6 章 C 波段放大器的要求。

拉曼放大器的技术参数待研究。

10 动态功率控制和增益均衡技术要求

6.1 通路功率动态控制

通过监视 OTU 线路各通路接收性能，动态调整各通路的光功率，实现每个通路的光功率和 OSNR 的优化，使系统整体性能最佳。

通路功率动态控制的反馈参数，可以采用各通路信号功率、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能影响被调整的通路和其他通路在线业务的正常工作，同时通路功率的动态调整支持自动启动和人工启动两种工作方式。

6.2 线路功率动态控制

N×100Gbit/s WDM 系统可支持线路功率动态调整功能，可以选择内置光放大器中的可调衰减器（VOA）、或以其他方式来实现线路功率的动态调整。

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能影响所有通路业务的正常工作。

6.3 动态增益均衡

N×100Gbit/s WDM 系统支持光放大器的动态增益均衡功能，可由内置于光放大器的均衡滤波器、VOA 或以其他方式来实现。

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，不需要进行任何其他硬件或软件的改动。在极限情况下，对于 N 路 WDM 系统，如同时失去 N-1 多个通路，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为 5min~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。

动态增益均衡功能模块的其他具体参数要求待研究。

动态增益均衡不应影响所有通路业务的正常工作。

11 OADM 技术要求

- ROADM 上下路操作不影响直通波长的正常工作；
- 可以在本地或远端进行上下波长控制；
- 上游光纤断纤的情况下，不能影响下游业务的正常工作。
- 系统可支持全波上下能力。

12 系统监控通路技术要求

12.1 OSC 通路技术要求

OSC 通路应满足如下要求：

- OSC 传输应是分段的，且具有 3R 和双向传输功能。在每个 WDM 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；
- 光监控通路波长为 $1510\text{nm} \pm 10\text{nm}/1625\text{nm} \pm 10\text{nm}$ ；
- OSC 不限制在 1310 nm 波长的业务；
- 光放大器失效时 OSC 仍然可用；
- 光监控通道主要是用来监控 WDM 设备间的工作状态及保护的信息量，信号速率可选择 STM-1(155.520Mbit/s)、E1 (2Mbit/s)、E2 (8Mbit/s) 或 10Mbit/s 、 100Mbit/s 以太网或其他速率；
- 可提供公务通路和使用者通路接口（可选）。

12.2 ESC 通路技术要求（可选）

ESC 通路应满足如下要求：

- ESC 传输应是分段的，且具有 3R 和双向传输功能。在每个 WDM 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；
- 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 WDM 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 实现方式采用 GCC，其他实现方式可以采用如 DCC 等。GCC 利用 ITU-T 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。DCC 利用 SDH 帧结构的空闲开销字节传送监控信息。
- 可提供公务通路和使用者通路接口。

13 传输功能和性能要求

13.1 保护倒换功能

本标准定义 100Gbit/s WDM 系统的通路层与复用段层的线性 1+1 保护，ODUk 颗粒的子网连接保护（SNCP）功能和性能要求参见 Q/CT 2247-2010 和 YD/T 1990-2009。

13.1.1 光通路层线性 1+1 保护

$N \times 100\text{Gbit/s}$ WDM 系统支持光通路层线性 1+1 保护倒换方式，其保护倒换原理如图 8 所示，保护倒换触发条件和业务受损时间的要求可参考表 15。

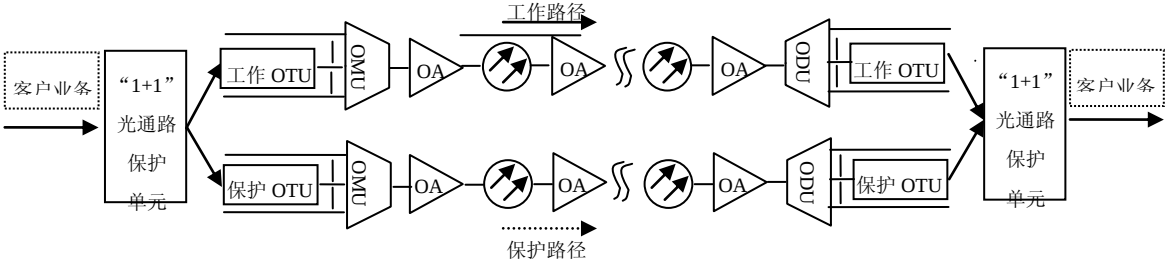


图8 光通路层线性 1+1 保护

表15 保护倒换触发条件和业务受损时间

保护倒换方式	倒换触发条件			业务最大受损时间（ms）
“1+1”光通路保护	客户侧	SDH 客户信号（含 POS）	LOS LOF（可选） B1-SD/B1-EXC（可选）	<50
		OTUK 客户信号	LOS LOF（可选） OTUk-DEG/OTUk-EXC（可选）	
		以太网客户信号	LOS 性能越限/劣化（可选） ^a	
	波分侧	LOS		
		LOF		
		OTUk-AIS ODUk-PM-AIS		
		ODUk-PM-LCK		
		ODUk-PM-OCI		
		OTUk-SM-TIM ODUk-PM-TIM		
		ODUk-PM-DEG		
^a 基于以太网的性能越限/劣化待研究				

13.1.2 光复用段线性 1+1 保护（可选）

N×100Gbit/s WDM系统可支持光复用段线性1+1保护倒换方式，其保护倒换原理如图9所示，保护倒换触发条件和业务受损时间的要求可参考表16。

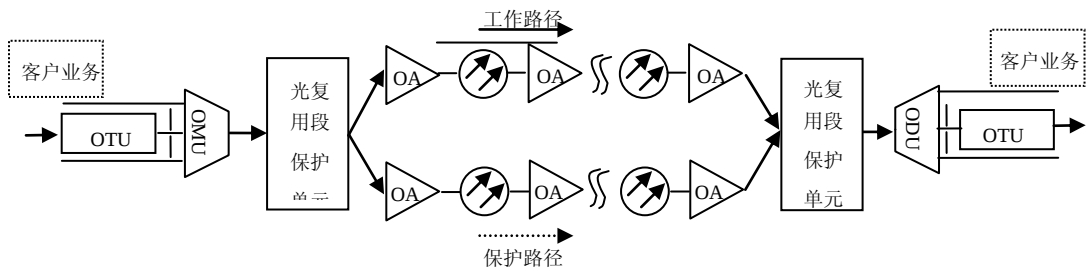


图9 光复用段线性 1+1 保护

表16 光复用段保护倒换触发条件和业务受损时间

保护倒换方式	保护倒换触发条件		业务最大受损时间（ms）
光复用段保护	光复用段层（OMS _n ）	LOS	待定 ^a
	光传送段层（OTS _n ）	LOS	
^a 由于系统配置中 OA 级联个数及设备 DSP 算法的差异，该参数可能出现不满足 50ms 指标要求的情况，具体指标待定			

13.1.3 业务中断时间监测功能（可选）

设备应当支持在保护倒换发生过程中实时检测业务中断时间，并通过网管系统显示，测试精度应不低于1ms；网管系统应当支持将业务中断时间作为电路性能参数之一，具备存储和查询功能。

13.2 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、光上下路复用站、光放站应具有在不中断业务的情况下测量主光通道总光功率的功能，并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，测量精度应不低于±1.0dB。

在 WDM 系统终端站、光上下路复用站可具有在不中断业务的情况下测量或估算每个光通路的光功率和光信噪比（OSNR）等功能（其中 OSNR 可选择支持作为维护功能），并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，测量或估算精度应不低于±1.5dB。光放站也可以支持该功能。

在 WDM 系统终端站、光上下路复用站，应具有在不中断业务的情况下测量电路端到端时延的功能，并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，测量精度应不低于±0.1ms(单向)。

13.3 误码/丢包率性能

- 对于 SDH 和 OTN 业务，误码性能要求为 24h 无误码。
- 对于以太网业务，丢包率性能指标要求为线速转发 24h 无丢包。

13.4 抖动性能

13.4.1 系统输出抖动

待研究。

13.4.2 系统输入抖动容限

系统的输入抖动容限和 OTU 接口输入抖动容限要求一致。

14 电源电压容限范围

电源电压容限范围为 $-40\text{V} \sim -57\text{V}$ 。

15 网络管理系统技术要求

网络管理满足 YD/T 1383-2005 基本要求，支持 OTN 帧格式的配置管理、性能管理和告警管理，具体性能和告警符合 YD/T 1462-2011、ITU-T G.798 的要求。

网管系统应支持纠错前误码率性能查询以及纠错前误码越限等事件和告警。

网管系统应支持主光通道总功率、光通路光功率和光信噪比（OSNR）（可选）等性能查询以及相应的越限事件和告警。

16 APR 进程要求

APR 进程应满足 YD/T 1259-2003 中要求。

17 同步传输要求

设备应支持频率（时钟）和相位（时间）同步传输功能，包括两种实现方式：利用 OSC 通路的带外同步传输方式；利用业务电路的带内同步传输方式（可选）。

17.1 频率同步

17.1.1 频率同步概述

设备的频率同步传输主要包括两种方式：透明传送业务时钟和逐点处理传送同步时钟。

17.1.2 透明传送业务时钟

设备采用透明传送业务时钟的具体实现方式可参照中国电信企业标准 2513-2013，时钟性能应满足 ITU-T G.8251 的要求。

17.1.3 逐点处理传送同步时钟

对于支持逐点处理的设备，若采用物理层方式（如 OTN 支路/线路接口、同步以太网接口等）恢复定时信号，其时钟性能应满足 ITU-T G.8262 的要求。若采用 IEEE 1588-2008 报文恢复定时信号，其时钟性能应满足 ITU-T G.8263 的要求。其它具体实现可参照中国电信企业标准 2513-2013。

17.2 时间同步

17.2.1 时间同步概述

设备时间同步传送技术分为局间传送技术和时间同步分配技术：

a) 局间传送技术：指设备的网络侧接口（OTUk、OSC）的定时传送。可以采用 ITU-T G. 709 开销带内方式，通过 ODUk 开销传送 IEEE 1588-2008 报文；也可以采用 OSC 信道（带外方式），通过 OSC 净荷传送 IEEE 1588-2008 报文。通过 ITU-T G. 709 开销的预留字节通道来传送同步信息的方式待研究。

b) 时间同步分配技术：指设备客户侧 PTP 接口，以及 1PPS+TOD 接口的定时传送。

1) 客户侧 PTP 接口，接口类型为以太网，可以和 PTN/路由器等设备进行对接，接口标准参考 YD/T 2397-2012；

2) 采用标准的 1PPS+TOD 接口从 BITS 获取定时或者为其他网元提供定时。

17.2.2 局间传送技术

设备应采用 IEEE 1588-2008 协议在局间传送时间信号，将每个分组增强型光传送网网元作为定时节点，支持 BMC 选源算法，能够恢复时间并进行时间信息向汇聚、接入层网络设备的分发。

局间传送技术按接口可分为 ITU-T G. 709 开销（带内方式）和 OSC（带外方式）。

a) ITU-T G. 709 开销（带内方式）：通过 ITU-T G. 709 开销的预留字节通道来传送 IEEE 1588-2008 报文。支持 IEEE 1588-2008 报文的 OTN 线路接口包括 OTUk 光口，其它接口待研究。OTUk 线路接口采用 IEEE 1588-2008 报文实现时间同步，采用 BMC 算法建立同步跟踪路径。PTP 时间接口要求包括报文封装、报文类型、传送模式、发送间隔、延时机制、工作模式等方面，应符合 YD/T 2397-2012 第 11.2.2 章节要求。通过 ITU-T G. 709 开销的预留字节通道来传送同步信息的方式待研究。

b) OSC（带外方式）：通过 OSC 承载 IEEE 1588-2008 报文，OSC 信息可以在分组增强型光传送网的每个节点以及光放站获得。通过控制打时间戳精度，可以满足 IEEE 1588-2008 的高精度要求。PTP 时间接口要求包括报文封装、报文类型、传送模式、发送间隔、延时机制、One-step 和 Two-step 模式等方面，应符合 YD/T 2397-2012 第 11.2.2 节要求。

17.2.3 时间同步分配技术

17.2.3.1 客户侧 PTP 时间同步接口要求

客户侧 PTP 接口主要采用 GE/10GE 等客户侧接口，用于和 PTN、路由器等设备进行对接。支持参与 BMC 选源。PTP 时间接口要求包括报文封装、报文类型、传送模式、发送间隔、延时机制、One-step 和 Two-step 模式等方面，应符合 YD/T 2397-2012 第 11.2.2 节要求。PTP 时间接口性能要求应符合 YD/T 2397-2012 第 11.2.4 章节要求。

17.2.3.2 1PPS+TOD 时间接口要求

采用 1PPS+TOD 接口同步时间，可支持 BITS 设备通过 1PPS+TOD 进行直接授时，也可输出标准 1PPS+TOD 信号为其他网络设备提供授时。1PPS+TOD 接口可参与系统时间源的选择。1PPS+TOD 接口的功能和性能应符合 YD/T 2397-2012 第 11.2.3 和 11.2.4 章节要求。

附 录 A (资料性附录)

Rn 参考点纠错前误码率 (Pre-FEC) 指标分析

A.1 背景

基于 50GHz 的 N×100Gbit/s WDM 系统目前采用常规 OSNR 测试方法无法实现在线测试, 新的测试方法尚不成熟, 给 N×100Gbit/s WDM 系统继续采用 OSNR 指标进行在线运行维护工作将带来不便。因此有必要引入一种便于在线评估 N×100Gbit/s WDM 系统性能的辅助指标, 以进一步增强 N×100Gbit/s WDM 系统的运行维护能力。Rn 参考点纠错前误码率 (Pre-FEC BER) 是满足上述要求的有效的辅助手段之一。

A.2 理论基础

误码率 (BER) 是衡量一个数字传输系统最本质的参数, 但是在低误码率传输系统中, BER 的准确测试需要非常长的时间, 使用起来极其不便, 因此一般可采用与 BER 密切相关的 Q 因子进行表征, 其定义见式 A.1:

$$Q(\text{Linear}) = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad \text{..... (A.1)}$$

式中, μ_1 和 μ_0 分别表示接收机接收到的“1”和“0”信号的电流/电压平均值, σ_1 和 σ_0 分别表示接收机接收到的“1”和“0”信号的电流/电压标准差。

对于强度调制光传输系统, 在接收机噪声为高斯分布, 接收机处于最佳判决和最佳取样等假设条件下, Pre-FEC BER 与 Q (Linear) 之间近似关系如式 A.2:

$$\text{Pre-FEC BER} = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{Q(\text{Linear})}{\sqrt{2}}\right) \quad \text{..... (A.2)}$$

式中, erfc 是互补误差函数。

在高斯噪声近似的带 EDFA 的 WDM 系统中, 在 ASE 噪声与信号光偏振方向一致等假设条件下, OSNR 与 Q 值之间近似关系如式 A.3:

$$Q(\text{Linear}) = \frac{\text{OSNR}(\text{Linear})}{1 + \sqrt{1 + 2\text{OSNR}(\text{Linear})}} \sqrt{\frac{B_o}{2B_e}} \quad \text{..... (A.3)}$$

式中, B_o 和 B_e 分别表示传输链路末级接收机的光带宽和电带宽。

当 OSNR 远大于 1 时, 式 (A.3) 可以进一步简化为式 (A.4):

$$Q(\text{Linear}) \approx \sqrt{\text{OSNR}(\text{Linear}) \frac{B_o}{4B_e}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.4})$$

在 ASE 噪声与信号光频振状态不一致时，式（A.4）将会发生一些变化，但 $Q(\text{Linear})$ 与 $\text{OSNR}(\text{Linear})$ 之间的平方根关系不变，变化的只是系数，因此在 dB 表达式下，两者只相差一个常数。

通常人们更习惯于用 dB 来表示 Q 值和 OSNR，由于 OSNR 是强度比， Q 值是电流比或电压比，因此习惯上人们采用如式(A.5)和式（A.6）的方式进行换算：

$$Q(\text{dB}) = 20 \times \text{Log}(Q(\text{Linear})) = 10 \times \text{Log}(\text{OSNR}(\text{Linear})) + 10 \times \text{Log}\left(\frac{B_o}{4B_e}\right) \quad \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

$$\text{OSNR}(\text{dB}) = 10 \times \text{Log}(\text{OSNR}(\text{Linear})) \quad \dots\dots\dots (\text{A.6})$$

从式（A.5）和式（A.6）可以看到， $Q(\text{dB})$ 和 $\text{OSNR}(\text{dB})$ 在数值上相差一常数。

综上所述，通过 Q 值作为桥梁，Pre-FEC BER 与 OSNR 之间也可以建立近似的对应关系，从而可以选择 Pre-FEC BER 作为在线评估 $N \times 100\text{Gbit/s}$ WDM 系统性能的辅助指标。

对于相位调制光传输系统，上述 Q 、BER 和 OSNR 之间的关系近似成立（此时 Q 值不具备式（A.1）定义的物理意义，只具备式（A.2）定义的数学意义，具体关系待研究。

A.3 指标要求

目前 WDM 系统技术规范中定义 MPI-R_m 参考点接收 OSNR 与背靠背 OSNR 容限（EOL）值之间的差值要求 4.5 dB~5dB。其中包含了两部分内容：第一部分是通道 OSNR 代价 2dB；第二部分是系统 OSNR 裕量 2.5 dB~3dB。另外接收机还包含 0.5dB 老化裕量，即背靠背 OSNR 容限 BOL 值与 EOL 值之间的差值。则通道 OSNR 裕量（BOL）至少应该达到 3 dB~3.5dB。因此，对应的通道 Q 裕量也应该至少达到 3 dB~3.5dB。

根据目前掌握的情况，各厂商 $N \times 100\text{Gbit/s}$ WDM 设备采用的 FEC 技术存在较大差异，FEC 纠错能力不尽相同，这给定义统一的 R_n 参考点纠错前误码率指标带来的一定困难。采用 Q 余量（Margin）指标虽然可以规避由于 FEC 纠错能力差异带来的指标多样化问题，但是在工程建设和运行维护中的可操作性不强。因此，本标准针对目前常用的几种 FEC 纠错技术，根据其纠错能力，制定了对应的 R_n 参考点 Pre-FEC BER 指标，如表 A.1 所示。

表A.1 不同 FEC 纠错能力等级对应的 R_n 参考点 Pre-FEC BER 指标

FEC 纠错容限范围	R _n 参考点 Pre-FEC BER 指标	Pre-FEC BER 指标对应 Q 值 (dB)	FEC 纠错容限	FEC 纠错容限对应 Q 值(dB)	实际 Q 值裕量(dB)
1.5E-2(含)~2.5E-2	1.0E-03	9.8	2.5E-02	5.9	3.9
			1.5E-02	6.7	3.1
8.0E-3(含)~1.5E-2	3.0E-04	10.7	1.5E-02	6.7	4.0
			8.0E-03	7.6	3.1
3.5E-3(含)~6.0E-3	7.0E-05	11.6	6.0E-03	8.0	3.6
			3.5E-03	8.6	3.0

FEC 纠错容限范围	Rn 参考点 Pre-FEC BER 指标	Pre-FEC BER 指标对应 Q 值 (dB)	FEC 纠错容限	FEC 纠错容限对应 Q 值(dB)	实际 Q 值裕量(dB)
1.5E-3(含)~2.5E-3	1.0E-05	12.6	2.5E-03	9.0	3.6
			1.5E-03	9.5	3.1
注：FEC纠错容限的定义是对应纠后平均误码率为1. 0E-12的最大纠前平均误码率。					

附 录 B (资料性附录)

前向纠错 (FEC) 算法的编码增益 (CG) 和净编码增益 (NCG)

B.1 理论基础

前向纠错 (FEC) 是保证 $N \times 100\text{Gbit/s}$ WDM 传输系统性能的关键技术之一。衡量 FEC 的纠错能力通常参考采用两个参数：误码率 (BER)、编码增益 (CG)。BER 衡量方式采用输入信号纠错前误码率 (Pre-FEC BER) 与纠错后输出信号误码率 (Post-FEC BER) 的对比分析。编码增益 (CG) 是衡量 FEC 对线路随机分布误码的纠错能力，其定义如式 (B.1)：

$$CG = 20\log_{10}\left[\text{erfc}^{-1}(2B_{ref})\right] - 20\log_{10}\left[\text{erfc}^{-1}(2B_{in})\right] \text{ (dB)} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中， B_{ref} 为参考 BER，即纠错后的目标 BER，业界通常采用的 B_{ref} 值为 $1.0\text{E-}15$ 或 $1.0\text{E-}12$ ； B_{in} 为对应纠错后误码率为 B_{ref} 的纠错前信号 BER； erfc^{-1} 为互补误差函数的反函数。

$N \times 100\text{Gbit/s}$ WDM 传输系统通常采用带外 FEC 算法，需要在业务净荷以外插入一些用于 FEC 纠错的额外码元，这些额外码元数目和净荷码元数目之间的比值称为开销 (OH)。开销的存在使得信号实际传输速率增加，给系统带来一定的额外 Q 值代价。为了更精确的衡量 FEC 纠错能力，计算编码增益 (CG) 时需要扣除 FEC 开销 (OH) 带来的额外代价，这就是净编码增益 (NCG)，定义如式 (B.2) 所示：

$$NCG = 20\log_{10}\left[\text{erfc}^{-1}(2B_{ref})\right] - 20\log_{10}\left[\text{erfc}^{-1}(2B_{in})\right] + 10\log_{10} R \text{ (dB)} \quad \dots\dots (B.2)$$

式中， R ($R < 1$) 是指无 FEC 与带 FEC 的信号比特速率比值。

一般而言 FEC 使用的开销 (OH) 越大，编码增益 (CG) 也越大，同时带来的 Q 值代价也越大，在一定条件下可能会出现 OH 越大，净编码增益 (NCG) 反而越小的情况。因此，FEC 需要选择合适的开销，目前 $N \times 100\text{Gbit/s}$ WDM 传输设备采用的 FEC 技术开销基本都在 7% 至 21% 之间。

B.2 示例

表 B.1 对目前 WDM 传输系统中常见的若干种 FEC 算法的编码增益 (CG) 和净编码增益 (NCG) 进行示例，其中参考 BER (B_{ref}) 分别取值 $1.0\text{E-}15$ 和 $1.0\text{E-}12$ 。

表B.1 WDM 传输系统常见 FEC 算法 CG 和 NCG 示例

FEC OH	B_{in}	B_{in} 对应 Q 值(dB)	编码增益 (CG) @ $B_{ref}=1\text{E-}15$ (dB)	净编码增益 (NCG) @ $B_{ref}=1\text{E-}15$ (dB)	编码增益 (CG) @ $B_{ref}=1\text{E-}12$ (dB)	净编码增益 (NCG) @ $B_{ref}=1\text{E-}12$ (dB)
7%	2E-3	9.18	8.81	8.52	7.76	7.47
7%	4E-3	8.47	9.52	9.23	8.47	8.18
20%	2E-2	6.25	11.74	10.95	10.69	9.90

参考文献

- Q/CT 2247-2010 中国电信光传送网络（OTN）总体技术要求（1.0）
Q/CT 2161-2009 中国电信 $N \times 40\text{Gbit/s}$ 光波分复用（WDM）系统技术规范（暂行）
Q/CT 2513-2013 中国电信分组增强型 OTN 设备技术要求
-