

ICS 33.040.20
M 33

YD

中华人民共和国通信行业标准

YD/T 1991-2009

$N \times 40\text{Gbit/s}$ 光波分复用 (WDM) 系统 技术要求

Technical requirements for $N \times 40\text{Gbit/s}$ optical wavelength division
multiplexing (WDM) systems

2009-12-11 发布

2010-01-01 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、定义和缩略语	2
4 系统分类	5
5 系统参数要求	8
6 OTU 技术要求	10
7 波分复用器件的基本要求	15
8 光放大器技术要求	16
9 色散补偿技术要求	16
10 FEC 技术要求	17
11 动态功率控制和增益均衡技术要求	17
12 OADM 的技术要求	18
13 监控通路要求	19
14 传输功能和性能要求	19
15 网络管理要求	21
16 APR 进程要求	21
附录 A (规范性附录) 带啁啾的 RZ-DQPSK WDM 系统光接口参数要求	22
附录 B (资料性附录) 10Gbit/s/40Gbit/s 光通道混合传送 WDM 系统应用	24
附录 C (资料性附录) R_n 参考点纠错前误码率 (Pre-FEC) 指标分析	26

前 言

本标准在参考 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——16×10 Gbit/s、32×10 Gbit/s 部分》、YD/T 1274-2003《光波分复用系统（WDM）技术要求——160×10 Gbit/s、80×10 Gbit/s 部分》的基础上，结合我国具体情况制定。

本标准的附录 A 为规范性附录，附录 B、附录 C 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：华为技术有限公司、武汉邮电科学研究院、工业和信息化部电信研究院、中兴通讯股份有限公司、上海贝尔股份有限公司。

本标准主要起草人：李时星、徐俊波、赵文玉、古 渊、邹明渊。

N×40Gbit/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 40 Gbit/s 密集波分复用（DWDM）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、光波长转换单元（OTU）技术要求、波分复用器件的基本要求、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（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。

本标准适用于单通路速率为 40 Gbit/s，工作在 C 波段 100 GHz 或 50 GHz 波长间隔 WDM 系统，同时适用于单通路速率为 10 Gbit/s、40 Gbit/s 混合传送 WDM 系统。

注：在单通道速率为 10Gbit/s、40Gbit/s 混合传送 WDM 系统情况下，40 Gbit/s 通路的指标要求参照本标准定义的应用代码，10 Gbit/s 通路的指标要求参照已有标准。

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。

GB/T 20187-2006	光传送网体系设备的功能块特性
YD/T 1274-2003	光波分复用系统（WDM）技术要求——160×10Gbit/s、80×10Gbit/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
YD/T 1462-2006	光传送网（OTN）接口
YDN 120-1999	光波分复用系统总体技术要求（暂行规定）
IEEE 802.3	局域网协议标准
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.691	有光放大器 SDH 单通路系统和 STM-64 系统的光接口
ITU-T G.693	甚短距离光接口要求
ITU-T G.709	光传送网（OTN）接口
ITU-T G.959.1	光传输网络物理光接口
ITU-T G.975	高比特率 DWDM 海底系统的前向纠错
ITU-T G.975.1	高速率 DWDM 海缆系统前向纠错的要求

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1.1

绝对频率参考 absolute frequency reference

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

3.1.2

C 波段 conventional band

波长在 1530 nm~1565 nm 的波段。C 波段的扩展波段波长分配要求参见表 2、表 3。

3.1.3

标称中心频率（波长） nominal central frequency

以频率 193.10 THz（真空波长 1552.52 nm）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）。

3.1.4

标称通路间隔 nominal channel spacing

相邻通路的标称中心频率（波长）之差。

3.1.5

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。

3.1.6

最小边模抑制比 minimum side mode suppression ratio

发射机总频谱最大峰值与第二大峰值之比的最小值。测量所用的频谱分辨率应高于峰值频谱宽度最大值。第二大峰值可能紧靠主峰，也可能与其离得很远。在本定义中，与最大峰值之间被时钟频率分开的频谱峰值不被认为是边模。

3.1.7

光功率放大器 optical booster amplifier

在 WDM 系统发送端合波器的后面，用于提高系统发送光功率的光放大器。

3.1.8

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。

3.1.9

光前置放大器 optical pre-amplifier

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。

3.1.10

光通道光信噪比代价 optical path optical signal noise ratio penalty

$N \times 40$ Gbit/s WDM 系统中，在参考接收机纠错后最大误码率为 $1E-12$ 时，OTU 直接连接到参考接收

机时 S_n (或 R_n) 点处光信噪比 (OSNR) 值与系统长距离链路传输以后 R_n 点处 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、残余色度色散、偏振模色散、偏振相关损耗、光通道反射和串扰等多种效应。

3.1.11

最大残余色度色散 maximum residual chromatic dispersion

$N \times 40$ Gbit/s WDM 系统中, 在保证光通道光信噪比代价满足要求的前提下系统可容忍的最大色度色散。

3.1.12

最大差分群时延 maximum differential group delay

$N \times 40$ Gbit/s WDM 系统中, 由偏振模色散引起的光通道光信噪比代价为 1dB 时的差分群时延值。

3.1.13

接收机光信噪比容限 receiver optical signal noise ratio tolerance

参考接收机纠错后达到应用最大误码率 (如 $1E-12$) 时, 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 值两类。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本标准。

AIS	Alarm Indication Signal	告警指示信号
APR	Automatic Power Reduction	自动功率减小
BER	Bit Error Ratio	比特差错率 (误码率)
BOL	Begin of Life	寿命初始
CBR	Constant Bit Rate	固定比特速率
CD	Chromatic Dispersion	色散
DCC	Data Communications Channel	数据通信通路
DCF	Dispersion Compensation Fiber	色散补偿光纤
DEG	Degraded	(性能) 劣化
DPSSK	Differential Phase Shift Keying	差分相移键控
DP-QPSK	Dual Polarization Quadrature Phase Shift Keying	双极化四相相移键控
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying	差分四相相移键控
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	寿命终止
ESC	Electronic Supervisory Channel	电监控通道
EXC	Excessive	(性能) 越限
FBG	Fiber Bragg Grating	光纤布喇格光栅

FEC	Forward Error Correction	前向纠错
GCC	General Communication Channel	通用通信通路
LAN	Local Area Network	局域网
LCK	Locked	锁定
LOF	Loss of Frame	帧丢失
LOM	Loss of Multi-frame	复帧丢失
LOS	Loss of Signal	信号丢失
MEMS	Micro-Electro-Mechanical systems	微机械系统
NRZ	Non-Return to Zero	非归零(码)
OADM	Optical Add-Drop Multiplexer	光分插复用器
OCI	Open Connection Indication	开放连接指示
ODB	Optical Duobinary	光双二进制码
ODU	Optical De-multiplexer Unit	光分波单元
ODTUG	Optical channel Data Tributary Unit Group	光通路数据支路单元群
OMU	Optical Multiplexer Unit	光合波单元
OSC	Optical Supervisory Channel	光监控信道
OSNR	Optical Signal Noise Ratio	光信噪比
OTN	Optical Transport Network	光传送网络
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
OTUkV	functionally standardized Optical Channel Transport Unit-k	功能标准化光通路传送单元-k
PDL	Polarization-Dependent Loss	偏振相关损耗
P-DPSK	Partial Differential Phase Shift Keying	部分差分相移键控
PLC	Planar Lightwave Circuit	平面光波导
PM	Path Monitoring	通道监测
PMD	Polarization Mode Dispersion	偏振模色散
PMDC	Polarization Mode Dispersion Compensation	偏振模色散补偿
PSBT	Phase Shaped Binary Transmission	相位整形二进制传输
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)
RZ	Return to Zero	归零(码)
SM	Section Monitoring	段监视
STM	Synchronous Transfer Mode	同步传输模式
TCM	Tandem Connection Monitoring	串联连接监测
WB	Wavelength Blocker	波长阻断器
WDM	Wavelength Division Multiplexing	波分复用
WSS	Wavelength Selective Switch	波长选择性交叉

4 系统分类

4.1 应用代码定义

$N \times 40$ Gbit/s WDM 系统的应用代码可用下面的字符序列来表示：

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

其中：

M 表示 MS-40 Gbit/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。

——40 G：表示 WDM 系统单通路典型速率为 39.813 ~43.018 Gbit/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 22 dB。

——B：表示跨段损耗为 27 dB。

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 nm~1565 nm)。

——L：表示工作波段为 L 波段 (1565 nm~1625 nm)。

本标准定义的 $N \times 40$ Gbit/s WDM 系统应用代码见表 1。

表1 $N \times 40$ Gbit/s WDM 应用代码

应用代码	通路间隔 (GHz)	跨段损耗 (dB)	光纤类型 ^a
M80.40G50-8A-652 (C)	50	8×22	G.652
M80.40G50-12A-652 (C)	50	12×22	G.652
M80.40G50-16A-652 (C)	50	16×22	G.652
M40.40G100-8A-652 (C)	100	8×22	G.652
M40.40G100-16A-652 (C)	100	16×22	G.652
M80.40G50-8A-655 (C)	50	8×22	G.655
M80.40G50-12A-655 (C)	50	12×22	G.655
M80.40G50-16A-655 (C)	50	16×22	G.655
M40.40G100-8A-655 (C)	100	8×22	G.655
M40.40G100-16A-655 (C)	100	16×22	G.655

^a 本标准规定的 G.655 光纤应用代码的参数要求仅针对大有效面积的 LEAF 光纤；若无特别说明其参数与对应跨段的 G.652 光纤应用代码参数要求相同

4.2 中心波长分配

$N \times 40$ Gbit/s WDM 系统可与原 10 Gbit/s 或 2.5 Gbit/s WDM 系统的波长分配保持一致, 采用常用的 C 波段 1550 nm 窗口。标称中心频率是基于参考频率为 193.1 THz, 最小间隔为 100 GHz 或 50 GHz 的频率间隔系列。可支持 50 GHz 的频率间隔 80 波系统和 100 GHz 的频率间隔 40 波系统。

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

C 波段编号	间隔 100 GHz 的标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)	C 波段编号	间隔 100 GHz 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 (50 GHz 间隔) $N \times 40$ Gbit/s 设备波长分配方案

C 波段编号	间隔 50 GHz 的标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)	C 波段编号	间隔 50 GHz 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

表 3 (续)

C 波段 编号	间隔 50 GHz 的 标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)	C 波段编号	间隔 50 GHz 的 标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)
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
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

表 3 (续)

C 波段 编号	间隔 50 GHz 的 标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)	C 波段编号	间隔 50 GHz 的 标称中心频率 (THz)	标称中心波长 (nm)
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

$N \times 40$ Gbit/s WDM 系统的参考配置如图 1 所示。图 1 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。

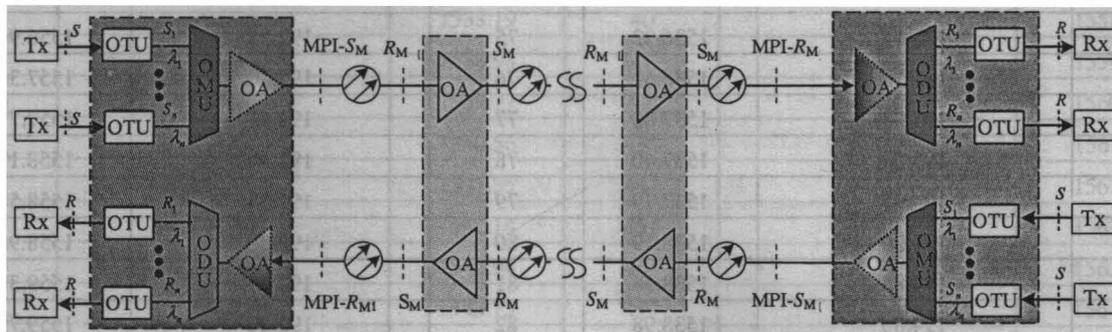


图1 40Gbit/s WDM 系统参考配置

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 $N \times 40$ Gbit/s 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 $N \times 40$ Gbit/s WDM 系统主光通道的参考点； S_n 、 R_n 是 $N \times 40$ Gbit/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 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。

5.2 主光通道接口参数要求

主光通道接口参数要求见表 4。

表4 N×40 Gbit/s WDM 系统主光通道参数

参数名称	单位	参数值								
基本参数										
应用代码	—	M40.40 G100-8A- 652/655 (C)	M40.40G100-16A- 652/655 (C)	M80.40G50- 8A-652/655(C)	M80.40G50-12A-652 (C)	M80.40G50- 12A-655 (C)	M80.40G50- 16A-652/655 (C)			
跨段损耗	n×W dB	8×22	16×22	8×22	12×22			16×22		
通路数	个	40			80					
调制格式	—	ODB/ PSBT	RZ-AMI	NRZ-DPSK	ODB/ PSBT	P-DPSK ^a	RZ-DQPSK ^b	P-DPSK	DP-QPSK	
比特速率	Gbit/s	39.813~43.018 ^c								
MPI-S_M/S_M点参数										
每通路输出功率 (平均功率) ^d	dBm	+4	+4	+4	+1	+2	+2	+1	-1	
——最大	dBm	+7	+7	+7	+4	+5	+5	+4	+2	
——最小	dBm	+1	+1	+1	-2	-1	-1	-2	-7	
MPI-S _M 点最大通路 功率差	dB	6	6	6	6	6	6	6	9	
最大总发送功率	dBm	+20	+20	+20	+20	+21	+21	+20	+18	
光通道 (MPI-S_M~MPI-R_M) 参数										
最大残余色散	ps/nm	待定								
最大反射系数	dB	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	
最小回损	dB	24	24	24	24	24	24	24	24	
典型衰减 ^e	dB	22	22	22	22	22	22	22	22	
MPI-R_M/R_M点参数										
每通路输入功率										
——最大	dBm	-15	-14	-13	-17	-16	-16	-17	-20	
——最小	dBm	-21	-22	-23	-25	-24	-24	-25	-29	
MPI-R _M 点最大通路 功率差	dB	6	8	10	8	8	8	8	9	
MPI-R _M 点每通路 最小光信噪比 ^f	dB	21	19.5	18.5	21	19	18.5	19	15.5	
差分群时延容限 (1dB OSNR 代价)	ps	5.5 ^h	9	8	5.5 ^h	6 ^h	18	6 ^h	75	
最大总接收功率	dBm	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-2	-4	
接收机光信噪比容 限 (EOL)	dB	16.5	14.5	13.5	16.5	14.5	14	14.5	10.5	
光通道 OSNR 代价	dB	2	2	2	2	2	2	2	2	
光通道最大纠前误 码率 (BOL) ⁱ		1E-5								
注: WDM 系统 10Gbit/s、40Gbit/s 不同通道速率或 40Gbit/s 不同调制格式的混合传送要求参见附录 B										
^a 在满足主光通道参数要求下, P-DPSK 系统在 G.652 光纤不排除提供大于 12 的传输跨段数。										
^b 为 G.652 光纤上常规 RZ-DQPSK 应用代码和参数定义, G.655 光纤的应用代码待研究; 带啁啾的 RZ-DQPSK 应用代码及参数定义遵照附录 A 的规定;										
^c 包含 OTU3V 速率, OTU3V 速率待定。										
^d 小于或等于 22dB 跨段的应用要求每通道平均输出光功率小于或等于该指标定义值; 大于 22dB 跨段的应用可以适当提高平均输出光功率。										
^e 典型衰减包含光纤线路、连接器插损以及老化裕量等, 但不包含 OSC 插损。										
^f 大于 12×22dB 跨段的 MPI-R _M 点每通路最小光信噪比为接收机光信噪比容限 (EOL) 加上 5dB OSNR 系统代价和裕量; 跨段数小于或等于 12×22dB 跨段则加上 4.5dB OSNR 系统代价和裕量。										
^g 实际工程中如果部分波长通道不满足 MPI-R _M 点每通路最小光信噪比要求, 可采用接收机光信噪比容限 (EOL) (即实际测试的 BTB OSNR BOL 值加上 0.5dB) 加上 4.5dB 或 5dB OSNR 系统代价和裕量进行系统设计。										
^h ODB/PSBT/P-DPSK 1.5 dB OSNR 代价下的差分群时延容限为 7.5 ps。										
ⁱ 纠前误码率指标分析参见附录 C										

6 OTU 技术要求

6.1 OTU 分类

本标准将 OTU 分为收发一体型 OTU、子速率复用器型 OTU 以及中继型 OTU 3 种，相关 OTU 外部参考点 S/R 定义见图 2、图 3、图 4。 S_n/R_n 是 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 STM-256 和 OTU3 等客户业务，子速率复用器型 OTU 可接入 STM-16/64、10GE 和 OTU1/2 等客户业务，中继型 OTU 实现 OTU3/OTU3V 线路业务的中继。



图2 收发一体型 OTU



图3 子速率复用型 OTU

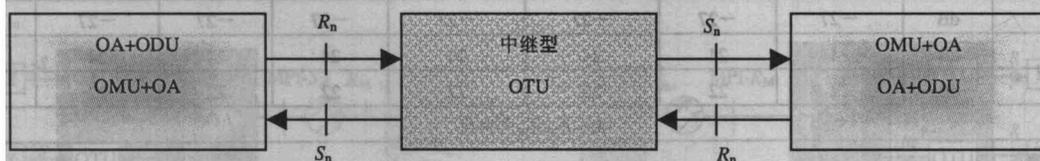


图4 中继型 OTU

6.2 OTU 功能要求

6.2.1 收发一体型 OTU

ITU-T G.709 定义了客户信号 CBR40 G（例如 STM-256）到 OTU3 的映射过程，定义了异步和比特同步两种映射方式。

支持 STM-256/OTU3 客户业务映射到 OTU3，从 OTU3 解映射 STM-256/OTU3 客户业务；

支持 STM-256/OTU3 客户业务性能监测，客户业务信号丢失监测；

支持 OTU3/OTU3V 的 SM/PM/TCM 等开销处理，开销处理符合 YD/T 1462-2006、GB/T 20187-2006 的要求；

支持 GCC 通道传送网元间通信信息（可选）。

6.2.2 子速率复用型 OTU

子速率复用/解复用 OTU 完成 $4 \times \text{STM-64/OC192/OTU2/10G LAN}$ 等到 OTU3 的复用/解复用处理；

对于 STM-64/OC192/OTU2/10GE WAN 等业务，先映射到 ODU2，再通过 $4 \times \text{ODU2}$ 复用到 OTU3，支持业务和时钟透明传送，详细映射路径如图 5 所示。

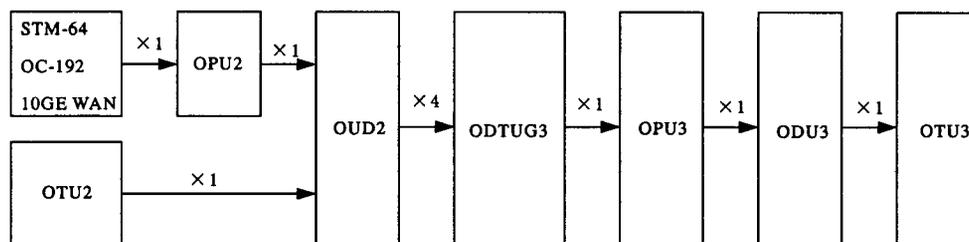


图5 OTU3子速率业务映射路径

对于 10G LAN 业务，支持业务的透明传送，具体映射复用路径待研究。

支持 OTU3/OTU3V 的 SM/PM/TCM 等开销处理，开销处理符合 YD/T 1462-2006、GB/T 20187-2006 标准；

支持带内 GCC 通道承载网元间通信信息（可选）；

支持客户业务性能监测，支持客户业务 LOS、LOF、B1、J0 监测。

6.2.3 中继型 OTU

中继型 OTU 完成 OTU3/OTU3V 业务的电再生：

支持 OTU3/OTU3V 的 SM/PM/TCM 等开销处理，开销处理符合 YD/T 1462-2006、GB/T 20187-2006 标准；

支持带内 GCC 通道承载网元间通信信息（可选）。

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、IEEE 802.3、ITU-T G.959.1 等光接口指标规范。

对于 S_n/R_n 侧的光接口参数，应满足表 5 要求。

表5 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	—	ODB/PSBT	RZ-DQPSK	P-DPSK	DP-QPSK	ODB/PSBT	RZ-AMI	NRZ-DPSK
OTU发送端 S_n 点参数								
光谱特性	—							
最大-20 dB 谱宽	nm	0.6	NA	0.7	0.17	0.6	NA	NA
最小边模抑制比	dB	35	35	35	35	35	35	35
平均发送功率	—							
——最大	dBm	5	5	5	5	5	5	5
——最小	dBm	-5	-10	-5	-5	-5	-5	-5
最小色散容纳值	ps/nm	待定						
眼图模板	—	TBD						
最小消光比	dB	8.2	NA	NA	NA	8.2	8.2	NA
中心频率	—							
标称中心频率	THz	191.1~196.25				191.1~196.2		
最大中心频率偏移	GHz	±2.5	±2.5	±2.5	±2.5	±5	±5	±5

表 5 (续)

OTU接收端R ₀ 点参数								
接收机最差灵敏度 ^a	dBm	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14
接收机最小过载	dBm	0	0	0	0	0	0	0
接收机最大反射系数	dB	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27
接收机可接收波长范围 ^b	nm	1527.61~1568.77				1527.99~1568.77		
^a 接收机集成光预放大器;								
^b 接收机可接收波长范围要求接收机处于如上范围, 并且和发送波长对应								

6.4 OTU抖动特性

6.4.1 抖动产生

基于 SDH 业务接口的 OTU 光接口抖动产生应不超过表 6 规定的数值。

表6 SDH 业务接口的 OTU 光接口抖动产生指标

接口类型	指标名称	测量带宽		峰-峰抖动值 (UIpp)
		低通 (kHz)	高通 (MHz)	
STM-64	B1	20	80	0.30
	B2	4000	80	0.10
STM-256	B1	80	320	0.30
	B2	16 000	320	0.14

基于 OTN 业务接口的 OTU 接口抖动产生共涉及到 ODCa、ODCb、ODCr 和 ODCp 等 4 类不同的时钟, 分别应用于不同的场景。

ODCa: 用于将客户信号异步映射进 ODUk。

ODCb: 用于将客户信号比特同步映射进 ODUk。

ODCr: 用于 3R 再生。

ODCp: 用于 CBR 客户信号 (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, 详见表 7 和表 8。

表7 OTU 抖动产生指标 (ODCa, ODCb 和 ODCr)

接口类型	指标名称	测量带宽		峰-峰抖动值 (UIpp)
		低通 (Hz)	高通 (Hz)	
ODU3/OTU3	B1	20 k	320 M	1.2
	B2	16 M	320 M	0.14

表8 OTU 抖动产生指标 (ODCp)

接口类型	指标名称	测量带宽		峰-峰抖动值 (UIpp)
		低通 (Hz)	高通 (Hz)	
CBR10G ODU2	B1	20k	80M	1.0
	B2	4M	80M	0.1
CBR40G	B1	80k	320M	1.0
	B2	16M	320M	0.14

6.4.2 输入抖动容限

对于 STM-64 和 OTU2 业务, 子速率复用型 OTU 在 S 侧接口的输入抖动容限应满足表 9、图 6 的要求。

表9 STM-64/OTU2 输入抖动容限

频率 f (Hz)	峰峰抖动值 (UI_{pp})
$2\text{ k} < f \leq 20\text{ k}$	$3.0 \times 10^4 f^{-1}$
$20\text{ k} < f \leq 400\text{ k}$	1.5
$400\text{ k} < f \leq 4\text{ M}$	$6.0 \times 10^5 f^{-1}$
$4\text{ M} < f \leq 80\text{ M}$	0.15

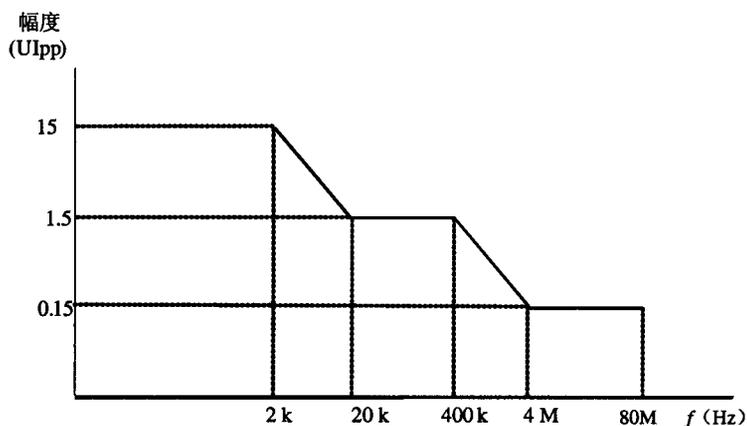


图6 STM-64/OTU2 输入抖动容限

对于 OTU3 业务, 收发一体型 OTU 在 S 侧和 R_n 接口以及子速率复用型 OTU 在 R_n 侧接口的输入抖动容限应满足表 10、图 7 的要求。

表10 OTU3 输入抖动容限

频率 f (Hz)	峰峰抖动值 (UI_{pp})
$8\text{ k} < f \leq 20\text{ k}$	$1.2 \times 10^5 f^{-1}$
$20\text{ k} < f \leq 480\text{ k}$	6.0
$480\text{ k} < f \leq 16\text{ M}$	$2.88 \times 10^6 f^{-1}$
$16\text{ M} < f \leq 320\text{ M}$	0.18

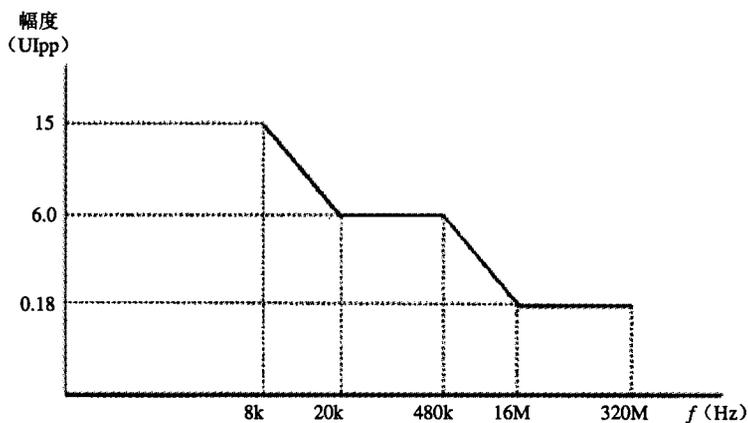


图7 OTU3 输入抖动容限

对于 STM-256 业务, 收发一体型 OTU 在 S 侧接口的输入抖动容限应满足表 11、图 8 要求。

表11 STM-256 输入抖动容限

频率 f (Hz)	峰峰抖动值 (UIpp)
$8\text{ k} < f < 80\text{ k}$	$1.2 \times 10^5 f^1$
$80\text{ k} < f < 1.92\text{ M}$	1.5
$1.92\text{ M} < f < 16\text{ M}$	$2.88 \times 10^6 f^1$
$16\text{ M} < f < 320\text{ M}$	0.18

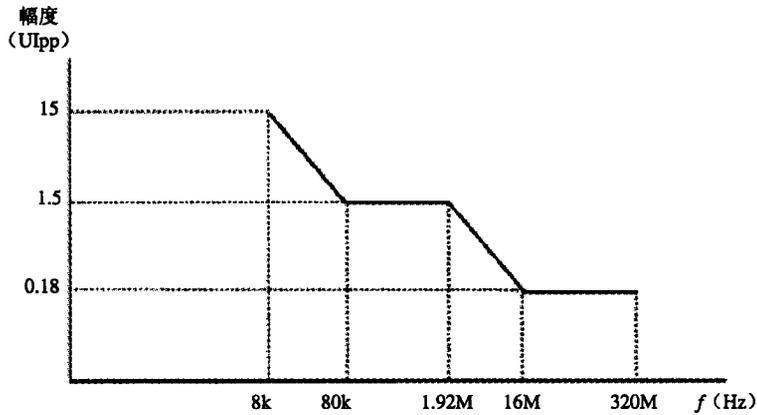


图8 STM-256 输入抖动容限

6.4.3 抖动转移特性

ODCa无抖动转移特性的要求；ODCp时钟的3dB带宽不超过300Hz，最大增益峰值为0.1dB。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9所示曲线的下方，其参数值见表12、表13。

P (抖动增益)

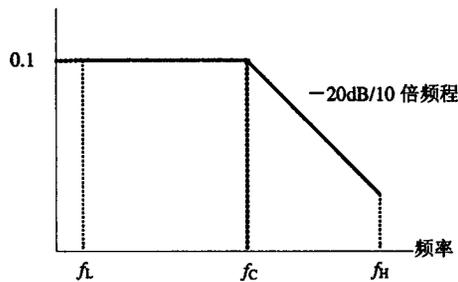


图9 OTU 抖动转移特性 (ODCb, ODCr)

表12 抖动转移特性指标 (ODCb)

接口类型	测量带宽			抖动增益 P (dB)
	f_L (Hz)	f_C (kHz)	f_H (kHz)	
ODU2	40	4	400	0.1
ODU3	160	16	1600	0.1

表13 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)	
OTU2	10	1000	80	0.1
OTU3	40	4000	320	0.1

对于 S 侧接口为 STM64/256 和 OTU2 接口情形，由于 OTU 在 S/R 侧和 S_n/R_n 侧的接口速率和帧格式

不同，因此，OTU 的抖动转移特性测试应按照 OTU 背靠背连接方式进行，如图 10 所示。

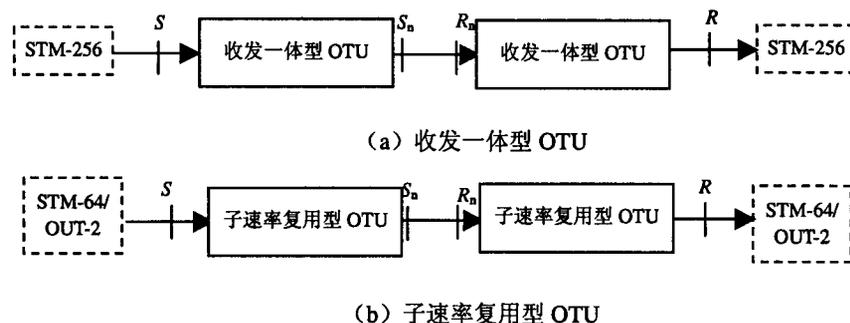


图10 OTU 在 S 和 S_n 点速率/帧结构差异时抖动转移特性测试参考配置

7 波分复用器件的基本要求

7.1 波分复用器件的参数

$N \times 40$ Gbit/s WDM 系统波分复用器件参数定义见 YD/T 1274-2003 中 5.1 节波分复用器件参数。

7.2 合波器 (OMU)

$N \times 40$ Gbit/s WDM 系统的合波器可以采用集成光波导型和介质薄膜滤波器型。其中 C 波段 40/80 波合波器参数应满足表 14 要求。

表14 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	1529.55~1560.61	1529.16~1560.61
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

7.3 分波器 (ODU)

$N \times 40$ Gbit/s WDM 系统的分波器可以采用光纤布喇格光栅型、介质薄膜滤波器型和集成光波导型，其中 C 波段 40/80 波分波器参数应满足表 15 要求。

表15 WDM 系统分波器参数要求

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
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

表 15 (续)

项 目	单 位	40 通路指标	80 通路指标
-1dB 带宽	nm	>0.2	>0.2
-20dB 带宽	nm	<1.2	<0.6
器件 PMD	ps	<0.5	<0.5

7.4 梳状滤波器

50GHz 波长间隔复用, 可用梳状滤波器或 50GHz 间隔的合/分波器来实现。其中 C 波段 40/80 波梳状滤波器参数应满足表 16 的要求。

表16 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	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	<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	<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	待定
器件 PMD	ps	<0.5

8 光放大器技术要求

$N \times 40\text{Gbit/s}$ WDM 系统的光放大器与原有 10Gbit/s WDM 系统的放大器兼容, 满足 YD/T 1274-2003 中第 6 章 C 波段放大器的基本要求。

9 色散补偿技术要求

9.1 色散补偿技术要求

9.1.1 固定色度色散

对于固定色度色散补偿, 可采用色散补偿光纤 (DCF)、啁啾布拉格光纤光栅 (CFBG) 等技术实现, 可采用多个色散斜率补偿模块对每个子波带进行补偿, 具体参数要求待研究。

9.1.2 自适应色度色散

对于自适应色度色散补偿, 可采用光域的啁啾布拉格光纤光栅 (CFBG)、标准具 (ETALON) 和电域色散补偿 (发射端或接收端实现) 等方式。自适应色度色散补偿结合固定色度色散补偿实现单信道的精确色散补偿, 自适应色度色散补偿的具体参数要求待研究。

9.2 PMD补偿技术要求（可选）

对于 PMD 代价超过 WDM 系统工程设计要求时，可采用 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 $N \times 40\text{Gbit/s}$ WDM 系统，FEC 应至少支持符合普通 FEC 和 EFEC 两种。其中普通 FEC 应符合 ITU-T G.709 或 G.975 中规定，即采用标准的 RS (255,239) 编码方式；对于 EFEC，具体实现编码方式暂不规定，可参照 ITU-T. 975.1 中的实现方式。

对于普通 FEC，应实现 $5E-4$ 线路随机误码的纠错，编码净增益应不小于 5dB（以 $1E-12$ 的输出误码率作为参考）；对于 EFEC，应实现 $2E-3$ 线路随机误码的纠错，编码净增益应不小于 7dB（以 $1E-12$ 的输出误码率作为参考）。

应支持 FEC 关闭功能；支持纠错前后误码率检测；支持标准 FEC、EFEC 纠错性能统计；支持纠错前误码超限事件等。

EFEC 光通道工程设计要求最大纠前误码率阈值为 $1E-5$ 。

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 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。

11.2 线路功率动态控制

$N \times 40\text{Gbit/s}$ 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。

11.3 动态增益均衡

$N \times 40\text{Gbit/s}$ WDM 系统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 $N-1$ 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 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。
 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接口指标及类型

OADM 参考点如图 11 所示。

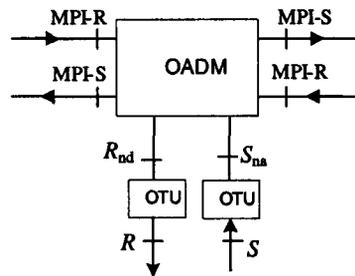


图11 OADM 参考点

图 11 中定义了 6 个参考点，即 MPI-S、MPI-R、S、 S_{na} 、R 和 R_{nd} ，具体含义如下：

MPI-S 表示 OADM 的 OA 光输出接口之后光纤连接处的参考点，相应指标要求和 $N \times 40\text{Gbit/s}$ WDM 系统的 S_M 参考点一致；

MPI-R 表示 OADM 的 OA 光输入接口之前光纤连接处的参考点，相应指标要求和 $N \times 40\text{Gbit/s}$ WDM 系统的 R_M 参考点一致；

S 表示上波 OTU 与客户连接方向的输入接口之前光纤连接处的参考点，相应指标要求和 $N \times 40\text{Gbit/s}$ WDM 系统的 S 参考点一致；

S_{na} 表示上波 OTU 与合波器连接方向的输出接口之后光纤连接处的参考点，相应指标要求和 OTU 中 S_n 参考点一致；

R 表示下波 OTU 与客户连接方向的输出接口之后光纤连接处的参考点，相应指标要求和 $N \times 40\text{Gbit/s}$ WDM 系统的 R 参考点一致；

R_{nd} 表示下波 OTU 与合波器连接方向的输入接口之前光纤连接处的参考点，相应指标要求和 OTU 中 R_n 参考点一致。

12.2 OADM功能要求

12.2.1 FOADM

FOADM 至少应支持以下一些功能。

- 可分插复用 40Gbit/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。
- 上下波能力： $80 \times 40\text{Gbit/s}$ 系统至少支持 8 波上下能力； $40 \times 40\text{Gbit/s}$ 系统至少支持 4 波上下能力。

12.2.2 ROADM

ROADM 可采用多种技术和结构实现，如采用液晶 (LC)、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。本标准暂不规定 ROADM 的具体实现技术，但 ROADM 应支持以下一些功能：

- 可分插复用 40Gbit/s 速率的波长；
- 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；
- 在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。

13 监控通路要求

13.1 光监控通路要求

对于光监控通路有以下一些要求。

——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 nm±10 nm/1625nm±10nm。

——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，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。

——可提供公务通路和使用者通路接口（可选）。

13.2 电监控通路要求（可选）

对于电监控通路有以下一些要求。

——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 实现方式主要采用 GCC，其他实现方式可以采用如 DCC 等。GCC 利用 ITU-T G709 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。

14 传输功能和性能要求

14.1 保护倒换功能

$N \times 40\text{Gbit/s}$ WDM 系统支持“1+1”光通路保护等保护倒换方式，其保护倒换原理如图 12 所示，保护倒换触发条件和业务受损时间的要求见表 17。

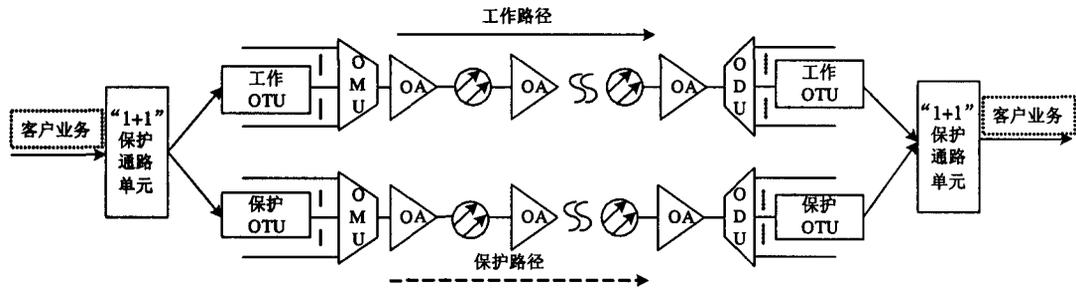


图12 “1+1”光通路保护

表17 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)
		OTU _k 客户信号	LOS LOF (可选) OTU _k _DEG/OTU _k _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
			OTU _k -AIS
			ODU _k -PM-AIS
			ODU _k -PM-LCK
			ODU _k -PM-OCI
			OTU _k -SM-TIM ODU _k -PM-TIM
	OTU _k -SM-DEG ODU _k -PM-DEG		
^a 基于以太网的性能越限/劣化参数待研究			<50

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 系统终端站可具有测量或估算每个光通路的光功率功能, EDFA 光放站也可以支持该功能, 并可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 ±1.5dB。

14.3 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, 丢包率性能指标待研究。

14.4 抖动性能

14.4.1 系统输出抖动

系统输出抖动应满足表 18 要求。

表18 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-256	80	320	1.5
	16000	320	0.18
OTU3	20	320	6
	16000	320	0.18

14.4.2 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。

14.5 电源电压容限范围

电源电压容限范围为-40V~-57V。

15 网络管理要求

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 1462-2006、GB/T 20187-2006 的要求。

16 APR 进程要求

APR 进程应满足 YD/T 1259-2003 中要求。

附 录 A
(规范性附录)

带啁啾的 RZ-DQPSK WDM 系统光接口参数要求

A.1 主光通道接口参数要求

主光通道接口的具体参数要求见表 A.1。

表 A.1 带啁啾的 RZ-DQPSK WDM 系统主光通道参数

参数名称	单 位	参数值	
基本参数			
应用代码	—	M80.40G50-16A-652 (C)	M80.40G50-16A-655 (C)
跨段损耗	n×W dB	16×22	
通路数	个	80	
调制格式	—	RZ-DQPSK ^a	
比特速率 ^a	Gbit/s	39.813~43.018 ^b	
MPI-S_M/S_M点参数			
每通路输出功率（平均功率） ^c	dBm	+2	+1
——最大	dBm	+5	+4
——最小	dBm	-1	-2
MPI-S _M 点最大通路功率差	dB	6	6
最大总发送功率	dBm	+21	+20
光通道（MPI-S_M~MPI-R_M）参数			
最大残余色散	ps/nm	待定	
最大反射系数	dB	-27	-27
最小回损	dB	24	24
典型衰减值得 ^d	dB	22	22
MPI-R_M/R_M点参数			
每通路输入功率			
——最大	dBm	-16	-17
——最小	dBm	-24	-25
MPI-R _M 点最大通路功率差	dB	8	8
MPI-R _M 点每通路最小光信噪比 ^f	dB	18/17.5 ^e	18/17.5 ^e
差分群时延容限(1dB OSNR 代价)	ps	18	18
最大总接收功率	dBm	-1	-2
接收机光信噪比容限 (EOL)	dB	13	13
光通道 OSNR 代价	dB	2	2
光通道最大前误码率 (BOL)		1E-5	
^a 为带啁啾的RZ-DQPSK应用代码和参数定义；常规RZ-DQPSK应用代码和参数定义见表4。 ^b 包含OTU3V速率，OTU3V速率待定。 ^c 小于或等于22dB跨段的应用要求每通道平均输出光功率小于或等于该指标定义值；大于22dB跨段的应用则可以适当提高平均输出光功率。 ^d 典型衰减值得包含光纤线路、连接器插损以及老化裕量等，但不包含OSC插损。 ^e 大于 12×22dB 跨段的 MPI-R _M 点每通路最小光信噪比为 18（即系统代价加裕量为 5dB）；跨段数小于或等于 12×22dB 跨段的 MPI-R _M 点每通路最小光信噪比为 17.5 dB（即系统代价加裕量为 4.5dB）。 ^f 实际工程中如果部分波长通道不满足 MPI-R _M 点每通路最小光信噪比要求，可采用接收机光信噪比容限 (EOL) 值（即实际测试的 BTB OSNR BOL 值加上 0.5dB）加上 4.5 dB 或 5dB OSNR 系统代价和裕量进行系统设计			

A.2 OTU光接口参数要求

对于 OTU S/R 侧的光接口参数, 应满足 ITU-T G.691、ITU-T G.693、IEEE 802.3、ITU-T G.959.1 等光接口指标规范。

对于 S_n/R_n 侧的光接口参数, 应满足表 5 的要求。

附录 B
(资料性附录)

10Gbit/s/40Gbit/s 光通道混合传送 WDM 系统应用

B.1 10Gbit/s/40Gbit/s混合传送WDM系统的应用

10Gbit/s/40Gbit/s 光通道混合传送系统的应用通常来自 3 个方面：第一，现网 10Gbit/s WDM 系统的部分光通道需要升级到 40Gbit/s 速率；第二，新建 WDM 系统初始采用 10Gbit/s 波长，未来进行 40Gbit/s 波长扩容；第三，新建 40Gbit/s WDM 系统的部分节点采用 10Gbit/s 波长。

光传送网络需要综合考虑设备成本、功耗及占用空间等诸多因素，混合传送系统可优化网络配置，降低初始和运维成本。

B.2 10Gbit/s/40Gbit/s混合传送WDM系统影响分析

目前已建 DWDM 网络大多是幅度调制 (ASK) 的 10Gbit/s 波长，而 40Gbit/s DWDM 系统则广泛采用相位调制 (PSK)。纯粹的 PSK 系统所有比特幅度相同，因此交叉相位调制 (XPM) 损伤很小。而混合传送系统中 10Gbit/s 光通道 ASK 信号幅度的变化对相邻的 40Gbit/s 光通道 PSK 信号产生一定的 XPM 损伤，导致传输性能有所劣化。

不同调制格式间的影响因素包括：

- 10Gbit/s、40Gbit/s信号的调制格式；
- 光通道规划（如频率间隔和不同速率信号的波长分配）；
- 光纤类型（如G.652/G.655及光纤混合）；
- 色散管理；
- 光通道功率；
- 滤波器影响；
- 偏振相关。

10Gbit/s/40Gbit/s 混合传送系统采用更精确的色散管理技术如动态色散补偿模块 (TDCM)，有效地减少系统的非线性代价和色散代价。系统的色散管理优化可采用下面 3 种方式：

- 优化色散预补偿；
- 可选择调整色散补偿模块优化40Gbit/s光通道；
- 优化色散后补偿。

10Gbit/s/40Gbit/s 混合传送系统可通过以下波长通道分配的优化，提高系统的 OSNR 裕量。

• 现网升级，40Gbit/s波长通道分配可优先选择远离10Gbit/s波长通道；次选一侧与10Gbit/s波长通道相邻；最后选择两侧与10Gbit/s波长通道相邻。其中，DP-QPSK调制格式在G.655光纤中40Gbit/s波长通道与10Gbit/s波长通道需要间隔若干波长通道。

- 新建网络，初始规划可采用10Gbit/s和40Gbit/s分段进行连续波长通道分配。

总体来说，信号光通道与干扰光通道的波长间隔越近，干扰光功率越高以及偏振方向越一致，则 XPM 损伤越大，因此，这些因素在混和传送系统需要综合考虑。

B.3 10Gbit/s/40Gbit/s混合传送WDM系统指标要求

本标准定义的应用代码综合考虑了各种系统的 OSNR 代价分配。

在满足系统 OSNR 代价和裕量（或纠错码阈值）要求的基础上，10Gbit/s、40Gbit/s 混合传送 WDM 系统中，对 40Gbit/s 通路可参照本标准定义的应用代码指标要求，10Gbit/s 通路则满足原有标准的指标要求。

B.4 40Gbit/s不同调制格式混合传送WDM系统应用

对于 40Gbit/s 系统不同调制格式存在混和应用场景。

方式一：不同节点间配置不同调制格式

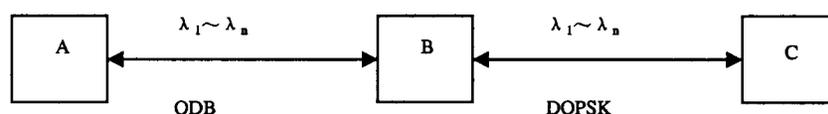


图 B.1 40Gbit/s 调制格式混合应用场景一

实际网络存在不同跨距或不同光纤的应用，综合考虑网络性能、成本及功耗，因此存在不同的 40Gbit/s 调制格式混合传送的应用。如图 B.1 所示，节点 AB 短跨距的复用段适合 ODB 等调制格式的应用；而节点 BC 长跨距或 PMD 受限的复用段则适合 DQPSK 等调制格式的应用。其系统指标要求可分段满足本标准定义的应用代码规定。其中 B 节点内部采用 IaDI 接口互连，统一网管管理。

对于 B 节点内部采用 IrDI 接口互联，不同的厂家设备的不同调制格式仍分段满足本标准定义的应用代码指标要求。

方式二：不同波长通道配置不同的调制格式

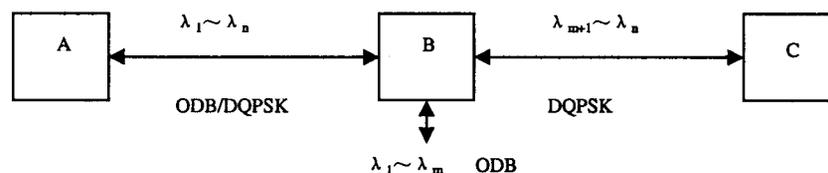


图 B.2 40Gbit/s 调制格式混合应用场景二

实际 40Gbit/s 网络可存在不同波长通道采用不同调制格式的应用，如在 OADM/ROADM 系统中，距离较短的复用段 AB 间可以采用性能较弱而成本优的调制格式，距离较长的复用段 AC 可以采用性能较好的调制格式，应用场景如图 B.2 所示。对于不同调制格式的波长通道可采用 B.2 节的分配原则。

附录 C

(资料性附录)

 R_n 参考点纠错前误码率 (Pre-FEC) 指标分析

C.1 背景

目前, 基于 50GHz 的 $N \times 40\text{Gbit/s}$ WDM 系统采用常规 OSNR 测试方法无法实现在线测试, 新的测试方法又尚不成熟, 这给 $N \times 40\text{Gbit/s}$ WDM 系统中采用 OSNR 指标进行在线运行维护带来不便, 因此有必要引入一种便于在线评估 $N \times 40\text{Gbit/s}$ WDM 系统性能的辅助指标, 以进一步增强 $N \times 40\text{Gbit/s}$ WDM 系统的运行维护能力。 R_n 参考点纠错前误码率 (Pre-FEC BER) 则是满足上述要求的、有效的辅助手段之一。

C.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 C.1。

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

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 $Q(\text{Linear})$ 之间近似存在如式 C.2 所示的关系:

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

式中: erfc 是误差函数。

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 值之间有如式 C.3 所示的近视关系:

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

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 C.3 可以进一步简化为式 C.4:

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

在 ASE 噪声与信号光偏振状态不一致时, 式 C.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

习惯上人们采用不同的方式进行换算：

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

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

从式 C.5 和式 C.6 可以看到， Q (dB) 和 $OSNR$ (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 $N \times 40\text{Gbit/s}$ 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 (C-1) 式定义的物理意义，只具备 (C-2) 式定义的数学意义），具体关系待研究。

C.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) 值之间的差值要求是 4.5dB~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 $OSNR$ 裕量为 2.5dB~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) 应该达到 3dB~3.5dB。根据 C.2 分析结果，对应的通道 Q 裕量也应该达到 3 dB~3.5dB。

假设 FEC 在单机和 WDM 系统两种工作状态下纠错能力（纠错容限）相同，如果以 FEC 纠错容限为基准，加上所需的通道 Q 裕量，即可得到 Pre-FEC BER 指标。目前多数厂商 40Gbit/s WDM 系统都采用了增强型前向纠错 (EFEC) 技术，其纠错容限指标为 $2E-3$ ，对应的 Q 值为 9.19dB，对应 3dB 和 3.5dB Q 裕量的 Pre-FEC (BOL) 指标如表 C.1 所示。

本标准采用 $1E-5$ 作为 Pre-FEC BER (BOL) 指标。

表 C.1 Q 值与 Pre-FEC BER 关系

项 目	Q (Linear)	Q (dB)	Pre-FEC BER
EFEC 纠错容限 (0dB Q Margin)	2.88	9.19	2.00E-3
3.5dB Q (dB) Margin	4.31	12.69	8.15E-6
3dB Q (dB) Margin	4.07	12.19	2.36E-5
3.4dB (dB) Margin	4.26	12.59	1.02E-5