



您现在的位置: 首页>>>在线学习>>>光通信>>>全光通信与DWDM

进程

第二课 全光通信与DWDM

一 光纤与光接入网

二 全光通信与DWDM



[打印页](#)

[第一章 全光通信技术](#)

[第二章 WDM波分复用技术讲座](#)

- ❖ [第一讲 WDM技术的基本原理](#)
- ❖ [第二讲 WDM系统中的光电器件](#)
- ❖ [第三讲 WDM系统技术规范](#)
- ❖ [第四讲 WDM系统网络管理要求](#)
- ❖ [第五讲 WDM系统测试及仪表](#)
- ❖ [第六讲 光波分复用技术-----WDM系统](#)
- ❖ [第七讲 密集波分复用\(MWDM\)和稀疏波分](#)

[第三章 DWDM\(密波分复用\)技术](#)

- ❖ [第一讲 DWDM发展回顾](#)
- ❖ [第二讲 DWDM与光纤技术的发展](#)
- ❖ [第三讲 DWDM技术走势](#)

第一章 全光通信技术

20世纪末出现的因特网标志着人类社会进入到一个崭新这个时代人们对信息的需求急剧增加,信息量象原子裂变一通信技术已经很难满足不断增长的通信容量的要求。于是—而生了,例如CDPD技术、CDMA2000技术、GPRS技术以及光通中,光通信技术凭借其巨大潜在带宽容量的特点,成为支撑通信技术之一。但在目前的光纤通信系统中,存在着较多的而—而这些转换过程存在着时钟偏移、严重串话、高功耗等缺点“信息瓶颈”现象。为了解决这一问题,充分发挥光纤通信

扰、保密性强、传输损耗低等优点，于是全光通信技术就‘
一、什么是全光通信

首先要声明一点的是，全光通信技术也是一种光纤通信。光纤系统中存在着较多的电子转换设备而进行改进的技术，间的信号传输与交换全部采用光波技术，即数据从源节点到光域内进行，而其在各网络节点的交换则采用全光网络交换。可以分为两个阶段来完成：首先是在点-点光纤传输系统中，任何光/电和电/光的转换，这样，网内光信号的流动就没有递过程无需面对电子器件速率难以提高的困难。这样的长距传播，称为发端与收端间点-点全光传输。那么整个光纤通以设法做到与任一其它用户地点实现全光传输，这样就组成上述用户间全程光传送网后，有不少的信号处理、储存、交接、进网/出网等功能都要由电子技术转变成光子技术完成。传输以外的许多重要功能，完成端到端的光传输、交换和通信发展的第二阶段，将是更完整的全光通信。

全光通信网由全光内部部分和通用网络控制部分组成，容纳多种业务格式，网络节点可以通过选择合适的波长进行接收。通过对波长路由的光交叉设备进行适当配置，透明距离。外部控制部分可实现网络的重构，使得波长和容量在足通信量、业务和性能需求的变化，并提供一个生存性好、

二、全光通信的实现技术

实现透明的、具有高度生存性的全光通信网是宽带通信。这样的目标需要有先进的技术来支撑，下面就是实现准确应采用的技术：

1、光层开销处理技术：该技术是用信道开销等额外比信号的一种数字封装技术，它能在光层具有管理光信道（OAM）信息的能力和执行光信道性能监测的能力，该技术同SONET/SDH网所具有的强大管理功能和高可靠性保证。

能。它可以更灵活地管理和分配网络资源，并能较有效地实
护、恢复。

5、光时分多址（OTDMA）技术：该技术是在同一光载波
期性的帧，每一个帧再分割成若干个时隙（无论帧或时隙都
据一定的时隙分配原则，使每个光网络单元（ONU）在每帧
号，然后利用全光时分复用方法在光功率分配器中合成一路
光放大器放大后送入光纤中传输。在交换局，利用全光时分
确，可靠的光时分多址通信，避免各ONU向上游发送的码流
能发生碰撞，光交换局必须测定它与各ONU的距离，并在下
（ONU）的严格发送定时。

6、光突发数据交换技术：该技术是针对目前光信号处
出的，在这种技术中有两种光分组技术：包含路由信息的组
数据分组技术。控制分组技术中的控制信息要通过路由器的
术不需光电/电光转换和电子路由器的转发，直接在端到端

7、光波分多址（WDMA）技术：该技术是将多个不同波
配给不同的光网络单元（ONU），用以实现上行信号的传输。
载波对发送的信息脉冲进行调制，从而产生多路不同波长的
用方法经过合波器形成一路光脉冲信号来共享传输光纤并这
统中为了实现任何允许节点共享信道的多波长接入，必须建
协议，该协议包括固定分配协议、随机接入协议（包括预留
术）及仲裁规程和改装发送许可等。

8、光转发技术：在全光通信系统中，对光信号的波长
的要求，为了满足ITU-T标准规范，必须采用光-电-光的光
进行规范，同时采用外调制技术克服长途传输系统中色散的
的光转发模块主要有直接调制的光转发模块和外调制的光转
转发模块包括电吸收（EA）调制和LiNbO₃调制等。在光纤传
模块要根据实际传输距离和光纤的色散情况而定。在全光通
调制类型的光转发模块，色散容限有1800/4000/7200/12800
不同的传输距离的需求，为用户提供从1km至640km各种传输
决方案，并且光转发单元发射部分的波长稳定度在0~60°C

9、副载波多址（SCMA）技术：该技术的基本原理是将不同频率的射频（超短波到微波频率）波上，然后将多路集成光载波。在ONU端进行二次解调，首先利用光探测器从光号，并从中选出该单元需要接收的控制信号，再用电子学的带控制信号。在控制信道上使用SCMA接入，不仅可降低网络的竞争。

10、空分光交换技术：该技术的基本原理是将光交换元件制成阵列开关，即可在任一路输入光纤和任一输出光纤之间的不同可分为机械型、光电转换型、复合波导型、全反射型如耦合波导型交换元件铌酸锂，它是一种电光材料，具有折发生变化的光学特性。以铌酸锂为基片，在基片上进行钛扩散的光波导，即光通路，再焊上电极后即可将它作为光交换近的波导进行适当的复合，通过这两条波导的光束将发生能随复合系数。平行波导的长度和两波导之间的相位差变化，光束就在波导上完全交错，如果在电极上施加一定的电压，由此可见，通过控制电极上的电压，可以得到平行和交叉两

11、光放大技术：为了克服光纤传输中的损耗，每传输行电的“再生”。随着传输码率的提高，“再生”的难度也容量扩大的“瓶颈”。于是一种新型的光放大技术就出现了实用化实现了直接光放大，节省了大量的再生中继器，使得为主要问题，同时使传输链路“透明化”，简化了系统，成输容量，促进了真正意义上的密集波分复用技术的飞速发展次革命。

12、时分光交换技术：该技术的原理与现行的电子程控全相同，因此它能与采用全光时分多路复用方法的光传输系可以时分复用各个光器件，能够减少硬件设备，构成大容量的通信技术网由时分型交换模块和空分型交换模块构成。它上述的空分光交换功能块完全相同，而在时分型光交换模块光纤延迟存储器、双稳态激光二极管存储器）、光选通器（以进行相应的交换。

13、无源光网技术 (PON)：无源光网技术多用于接入方式为光线路终端 (OLT) 和光网络单元 (ONU) 之间提供光/用多址接入技术。目前使用中的有时分多址接入 (TDMA)、波多址接入 (SCMA) 3种方式。PON中使用的无源光器件有光接器、光分路器、波分复用器和光衰减器。拓扑结构可采用种结构。

第二章 WDM波分复用技术讲座

第一讲 WDM技术的基本原理

目前, WDM (波分复用) 技术发展十分迅速, 已展现出展前景, 我国的光缆干线和一些省内干线已开始采用WDM系: 正在开发这项技术。为帮助读者了解和熟悉这一新技术, 我一讲是WDM技术的基本原理; 第二讲介绍WDM系统中应用的光理, 以及它们的应用情况; 第三讲介绍WDM系统的技术规范。制定发布的16 (8) \times 2.5Gb / s WDM系统规范, 并予以较详: 关于WDM系统管理方面的要求, 以及WDM和SDH网管系统的关测试方法和相关仪表; 第六讲主要探讨采用OADM组环的技术和OADM的全光网技术。

1 概述

在过去20年里, 光纤通信的发展超乎了人们的想象, 光网的基础平台。就我国长途传输网而言, 截止到1998年底, 20万km。光纤通信系统经历了几个发展阶段, 从80年代末的SDH系统, 以及近来风起云涌的WDM系统, 光纤通信系统自身

波分复用技术从光纤通信出现伊始就出现了, 两波长W 80年代就在美国AT&T网中使用, 速率为 $2 \times 1.7\text{Gb} / \text{s}$ 。但是: 展速度并不快, 主要原因在于: (1) TDM (时分复用) 技术 $622\text{Mb} / \text{s} - 2.5\text{Gb} / \text{s}$ TDM技术相对简单。据统计, 在2.5Gb系统), 系统每升级一次, 每比特的传输成本下降30%左右

统升级中,人们首先想到并采用的是TDM技术。(2)波分复用器/解复用器和光放大器在90年代初才开始商用化

1995年开始,WDM技术的发展进入了快车道,特别是基于1550nm窗口密集波分复用(DWDM)系统。Lucent率先推出了 $16 \times 2.5 \text{Gb/s}$ 系统,试验室目前已达 Tb/s 速率,世界各公司都对这一技术的商用化表现出极大的兴趣,WDM系统的应用。发展迅速的主要原因在于:(1)光电器件的迅速发展和商用化,使在光放大器(1530~1565nm)区域采用WDM技术,TDM 10Gb/s 面临着电子元件的挑战,利用TDM方式已日益受限,TDM已没有太多的潜力可挖,并且传输设备的价格也很高,光纤1550nm窗口的高色散限制了TDM 10Gb/s 系统的传输,光纤影响日益加重。人们正越来越多地把兴趣从电复用转移到光复用方式来改进传输效率,提高复用速率,而WDM技术是目前最实用的复用技术。

从光纤通信发展的几个阶段看,所应用的技术都与光纤多模光纤通信,所应用的是多模光纤的850nm窗口;80年代中期,所应用的是单模光纤1310nm窗口;1993年开始的SDH系统,WDM是在光纤上实行的频分复用技术,更是与光纤有着不可分割的关系,系统是在1550nm窗口实施的多波长复用技术,因而在深入讨论一下光纤的特性,特别是光纤的带宽和损耗特性。

2 光纤的基本特性

由于单模光纤具有内部损耗低、带宽大、易于升级扩容等优点,得到了广泛应用。从80年代末起,我国在国家干线网上敷设的石英单模光纤同时具有1550nm和1310nm两个窗口,最小衰减系数国际商用光纤在这两个窗口的典型数值为:1310nm窗口的衰减在 $0.19 \sim 0.25 \text{ dB/km}$;1550nm窗口的衰减在 $(0.19 \sim 0.25) \text{ dB/km}$ 。

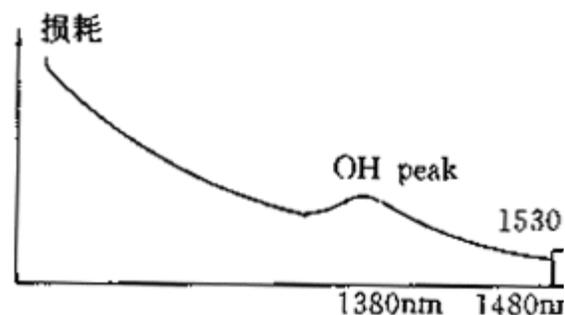


图1 光纤损耗的频谱

从上图可以看出,除了在1380nm有一个OH-根离子吸收峰,其它区域光纤损耗都小于0.5dB/km(据报道已有公司推出了低损耗光纤,这一损耗峰峰值,使整个频带更加平坦)。现在人们所利用的光纤(1310~1550nm)极少的一部分。以常规SDH 2.5Gb/s系统所占很小一部分,大约只有0.02nm左右;全部利用掺铒光纤放大(1530~1565)nm的35nm带宽,也只是占用光纤全部带宽(1310~1550)nm的2.3%左右。

理论上,WDM技术可以利用的单模光纤带宽达到200nm,波长间隔为0.8nm(100GHz)计算,理论上也可以开通200多路。目前光纤的带宽远远没有利用。WDM技术的出现正是为了充分利用本身的宽带宽、低损耗特性也为WDM系统的应用和发展提供

3 WDM技术原理

在模拟载波通信系统中,为了充分利用电缆的带宽资源,通常利用频分复用的方法,即在同一根电缆中同时传输若干路信号。根据各载波频率的不同,利用带通滤波器就可滤出每一个信道。

同样,在光纤通信系统中也可以采用光的频分复用的方法,在接收端采用解复用器(等效于光带通滤波器)将各信道的信号在频域上信号频率差别比较大,人们更喜欢采用波长来定义的信道。所谓WDM技术就是为了充分利用来的巨大带宽资源,根据每一信道光波的频率(或波长)不同,将信道划分成若干个信道,把光波作为信号的载波,在发送端采用复用器(合波器)将不同规定波长的信号光载波合并起来送入一根光纤进行传输,在接收端采用解复用器(分波器)将这些不同波长承载不同信号的光载波

同波长的光载波信号可以看作互相独立（不考虑光纤非线性）可实现多路光信号的复用传输。双向传输的问题也很容易解号分别安排在不同波长传输即可。根据波分复用器的不同，同，从2个至几十个不等，现在商用化的一般是8波长和16波的光载波波长的间隔大小，图2给出了其系统组成。

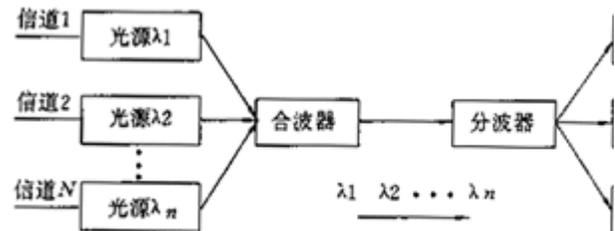


图2 波分复用系统原理

WDM本质上是光域上的频分复用（FDM）技术。要想深刻必要对传输技术的发展进行一下总结。从我国几十年应用的FDM-TDM-TDM+FDM的路线。开始的明线、中同轴电缆采用的频分复用技术，每路话音的带宽为4kHz，每路话音占拥一段带宽；PDH、SDH系统则是在光纤上传输的TDM基带数字64kb/s；而WDM技术是光纤上频分复用技术，16（8）×2.5Gbps上的FDM模拟技术和电域上TDM数字技术的结合。

下面列出了几种传输技术实现方式：

- . 明线技术，FDM模拟技术，每路电话4kHz；
- . 小同轴电缆60路FDM模拟技术，每路电话4kHz；
- . 中同轴电缆1800路FDM模拟技术，每路电话4kHz；
- . 光纤通信140Mb/s PDH系统，TDM数字技术，每路电话
- . 光纤通信2.5Gb/s SDH系统，TDM数字技术，每路电话
- . 光纤通信N×2.5Gb/s WDM系统，TDM数字技术+光频域64kb/s。

WDM本质上是光域上的频分复用FDM技术，每个波长通路

图3所示。每个波长通路占用一段光纤的带宽，与过去同轴
 (1) 传输媒质不同，WDM系统是光信号上的频率分割，同轴
 割利用。(2) 在每个通路上，同轴电缆系统传输的是模拟
 系统目前每个波长通路上是数字信号SDH 2.5Gb/s或更高速

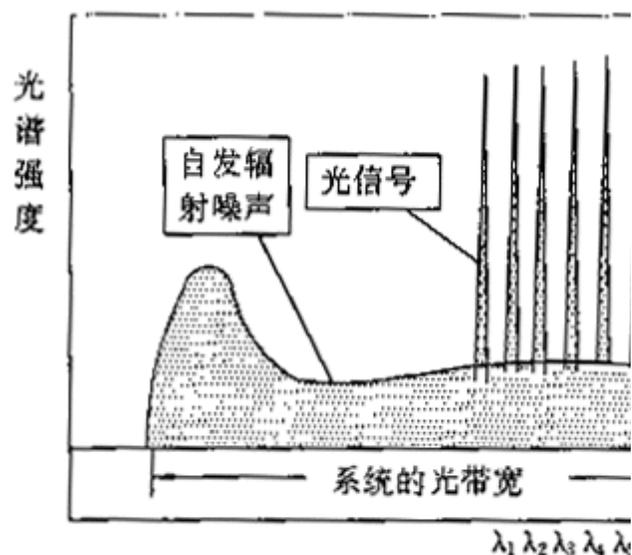


图3 WDM系统的频谱分布

4 WDM技术的主要特点

可以充分利用光纤的巨大带宽资源，使一根光纤的
 加几倍至几十倍。

使N个波长复用起来在单模光纤中传输，在大容量
 光纤。另外，对于早期安装的芯数不多的电缆，芯数较少，
 系统作较大的改动即可比较方便地进行扩容。

由于同一光纤中传输的信号波长彼此独立，因而可
 号，完成各种电信业务信号的综合和分离，包括数字信号和
 和SDH信号的综合与分离。

波分复用通道对数据格式是透明的，即与信号速率
 WDM系统可以承载多种格式的“业务”信号，ATM、IP或者
 WDM系统完成的是透明传输，对于“业务”层信号来说，WDM
 的光纤一样。

在网络扩充和发展中,是理想的扩容手段,也是引CATV、HDTV和B-ISDN等)的方便手段,增加一个附加波长即或新容量。

利用WDM技术选路来实现网络交换和恢复,从而可高度生存性的光网络。

在国家骨干网的传输时,EDFA的应用可以大大减少的数目,从而减少成本。距离越长,节省成本就越多。

5 WDM和DWDM

人们在谈论WDM系统时,有时会谈到DWDM(密集波分复一回事吗?它们之间到底有那些差别呢?其实,WDM和DWDM们是在不同发展时期对WDM系统的称呼,它们与WDM技术的发

在80年代初,光纤通信兴起之初,人们想到并首先采用窗口1310nm和1550nm窗口各传送1路光波长信号,也就是13系统,这种系统在我国也有实际的应用。该系统比较简单,器件,插入损耗小;没有光放大器,在每个中继站上,两个电/光再生中继,然后再复用在一起传向下一站。很长一段WDM系统就是指波长间隔为数十nm的系统,例如1310nm/15200多nm)。因为在当时的条件下,实现几个nm波长间隔是

随着1550nm窗口EDFA的商用化,WDM系统的应用进入了用1310nm窗口,而只在1550nm窗口传送多路光载波信号。由长间隔比较窄(一般(1.6nm),且工作在一个窗口内共享于传统的WDM系统,人们称这种波长间隔更紧密的WDM系统为密集,是指相邻波长间隔而言。过去WDM系统是几十nm的波小多了,只有(0.8~2)nm,甚至<0.8nm。密集波分复用技具体表现形式。由于DWDM光载波的间隔很密,因而必须采用选取,例如平面波导型或光纤光栅型等新型光器件,而不能件。

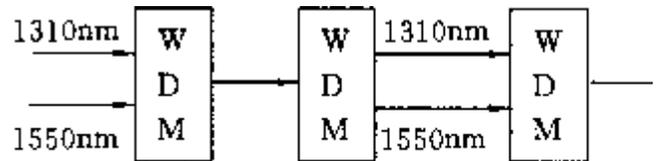


图4 1310/1550WDM系统

在DWDM长途光缆系统中，波长间隔较小的多路光信号可在两个波分复用终端之间，采用一个EDFA代替多个传统的电再生光信号，延长光传输距离。在DWDM系统中，EDFA光放大器和中继器将共同存在，EDFA用来补偿光纤的损耗，而常规的光/补偿色散、噪声积累带来的信号失真。

现在，人们都喜欢用WDM来称呼DWDM系统。从本质上讲，WDM更具有普遍性，DWDM缺乏明确和准确的定义，而且为所谓密集的波长间隔，在技术实现上也越来越容易，已经一般情况下，如果不特指1310nm / 1550nm的两波分WDM系统，DWDM系统。

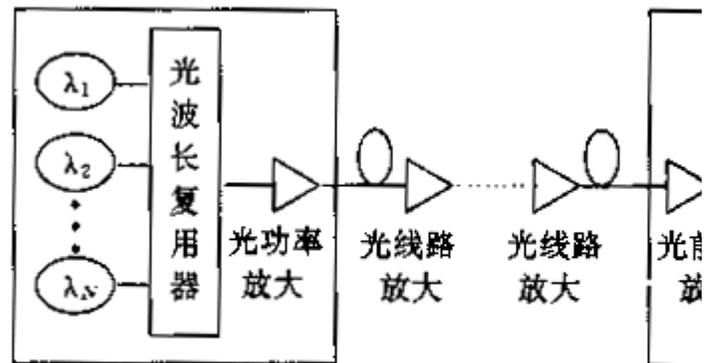


图5 1550nm窗口的DWDM光路

6 总结

过去无论PDH的34Mb / s-140Mb / s-565Mb / s，还是SDH的2.4Gb / s，其扩容升级方法都是采用电的TDM方式，即在电域用技术，光电器件和光纤完成的只是光电变换和透明传输，处理措施（甚至于放大）。WDM技术的应用第一次把复用方式，在光域上用波分复用（即频率复用）的方式提高传输速率和放大，而不再回到电信号上处理，并且各个波长彼此独

明。因此,从某种意义上讲,WDM技术的应用标志着光通信

第二讲 WDM系统中的光电器件

WDM系统本质上是光域上的模拟系统,WDM技术第一次把域,在光域上用彼长复用(即频率复用)的方式提高传输复用和放大,而不再回到电信号上处理,因而大大增加了光电性能很大程度上取决于各器件的特性。相对于SDH系统,WDM(解复用器)、光放大器等器件,另外对激光器信号的波长较高的要求。下面我们分3部分介绍WDM系统中的光电器件,光放大器。

1 激光器

过去SDH系统工作波长是在一个很宽的区域内,而WDM系统采用不同的波长,一般波长间隔为100GHz或200GHz,这除了准确的工作波长外,在整个寿命期间波长偏移量都应在不同的波长相互干扰。即激光器必须工作在标准波长、且具

另一方面,由于采用了光放大器,WDM系统的无再生中;再生距离一般在50~60km,由再生器进行整形、定时和再生输。而WDM系统中,每隔80km有一个EDFA,只进行放大,没有有效去除因线路色散和反射等带来的不利影响,系统经500电再生,因而要求光源的色散受限距离大大延长。由过去的上,这对光源的要求大大提高。总体上,应用在WDM系统上(1)比较大的色散容纳值。(2)标准而稳定的波长。

1.1 外调制技术

对于直接调制来讲,单纵模激光器引起的啁啾(Chirp)距离的主要因素。即使采用 α 值较小的应变型超晶格激光器,5 Gb/s的色散受限距离也只有120km左右。这对于国家干线600km是不够的。从原理上讲,很难消除直接调制带来的Chirp了外调制。

与直接调制不同,在外调制情况下,高速电信号不再直在某一媒介上,利用该媒介的物理特性使通过的激光器信号

而间接建立了电信号与激光的调制关系。在外调制情况下，激光，而外调制器以低啁啾对它进行调制，从而获得远大于离。目前，投入实用的主要有两种：一种是电吸收型外调制马赫-曾德尔调制器。

1. 1. 1 电吸收外调制器（EML激光器）

电吸收外调制器是一种强度调制器，也是第一种大量生（InGaAsP）光电集成器件。它将激光器和调制器集成到一的激光器段工作于恒定功率或CW模式。输入信号加在调制器关，让光通过或把光关断。这使得产生的信号的啁啾声（Chirp）在标准的光纤上传播非常长的距离，并且信号的失真很小，过600km的距离。

电吸收外调制器的最突出的优点是体积较小，集成度如量小，在已有的WDM陆地系统中，绝大部分公司的产品都采器。

1. 1. 2 马赫-曾德尔（Mach-Zehnder）外调制器

马赫-曾德尔波导型外调制器也是一种强度调制器。它激光器和一个外调制器。激光器也工作于连续波（CW）状态下，由于银酸锂（LiNbO₃）良好的电光效应，使波导的折光光的强度相应发生变化，实现波导输出的光幅度调制。马赫其啁啾参数可以为零，因而调制速率极高，几乎不受光纤色窄，消光比高。缺点是调制器与偏振矿态相关，激光器和保偏光纤。在10Gb / 5以上超高速WDM系统传输时，MZ外调调的主要手段。

1. 2 波长稳定技术

WDM系统的一个重要特点是在光波分复用器处输入的信号，各个通路的信号波长不同，而且对中心频率偏移有严格/s WDM系统，通路间隔选择200GHz，到寿命终了时的波长两个通路如果波长偏移过大，就会造成通路间的串扰过大，言，最简单的方法是依靠稳定激光器的温度和偏流保证。但光器老化、温度变化引起的波长变化。当波长精度要求较高长控制技术。使用波长敏感器件对可调制连续波光源图1所示。波长敏感器件的输出电压随LD发射光波长变化而经适当处理可用来直接或间接控制LD发射的光波长，使其稳

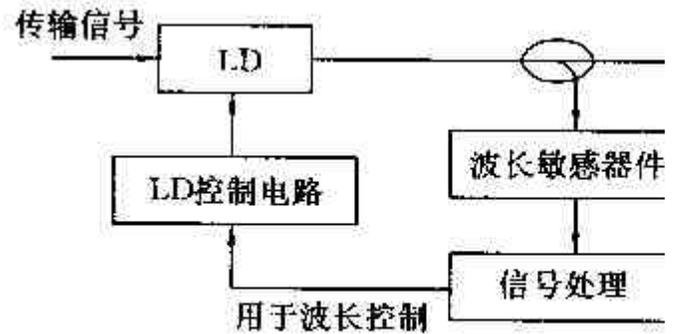


图1 波长控制原理

2 波分复用器件

波分复用器件是波分复用系统的重要组成部分，将不同起经一根传输光纤输出的器件称为合波器，如图2（a）所示送来的多波长信号分解为个别波长分别输出的器件称分波器。同一器件既可作分波器，又可以作合波器。

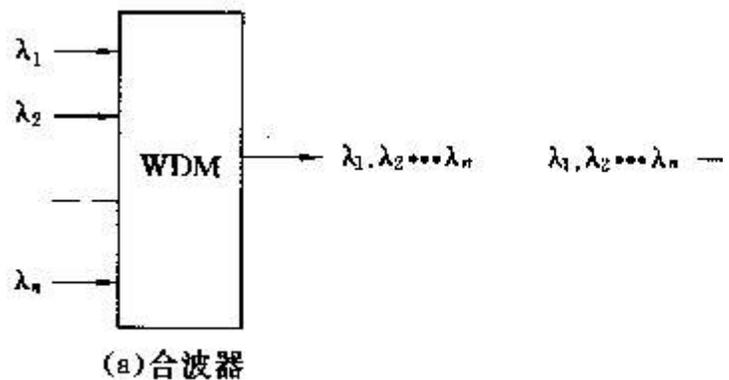


图2 波分复用器件

WDM器件有多种制造方法，目前已广泛商用的WDM器件可件、干涉滤波器、熔锥型波分复用器和集成光波导型。下面

2.1 光栅型波分复用器

光栅型波分复用器件属于角色散型器件。当入射光照角色散作用，使不同波长的光信号以不同的角度出射，然后光纤，从而完成波长的选择作用，如图3所示。

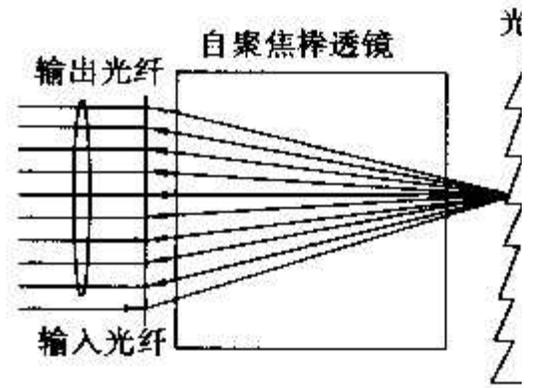


图3 块状光栅型波分复用器典型

总的来看,光栅型WDM器件具有优良的波长选择特性,0.1nm到0.51nm左右。另外,光栅型器件是并联工作的,插入损耗随通道数增加,已能实现32~131个波长的复用,但对温度稳定性较差。例如,以光源在1550nm波长的温度系数大约为0.4nm/℃为例,以引起约0.4nm的波长偏移,对于通路带宽仅0.31nm的情况,其严重性可见一斑。因而采用温控措施是必要的。

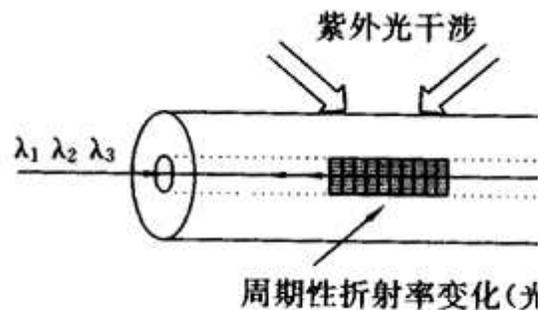


图4 光导纤维中布拉格光栅滤波

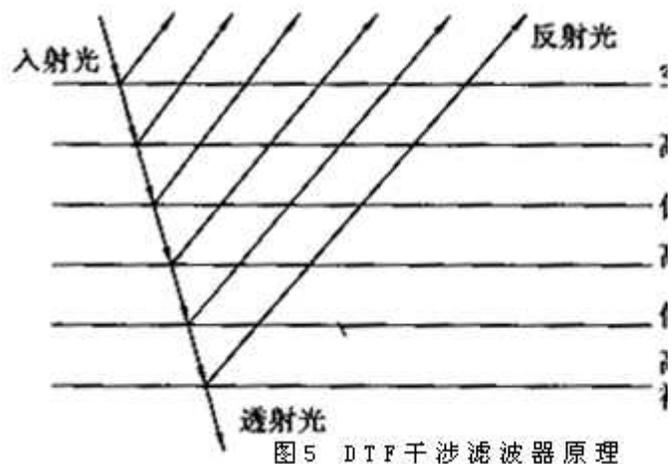
除上述传统光栅器件外,近来一种利用紫外光将折射率光栅受到了很大重视,如图4所示。据报道其性能甚佳,带外抑制比很高,插入损耗不大,性能十分稳定,1560nm的温度系数滚降斜率优于15dB/11m,带外抑制比可以高达50dB。

它具有理想的滤光特性、便于设计制造、效率高等优点,是非常小的带通、带阻滤波器。目前已广泛用于WDM系统中。

2.2 介质薄膜滤波器型波分复用器

光滤波器有两类,一类为干涉滤波器,另一类是吸收滤

膜 (DTF) 构成。DTF干涉滤波器由几十层不同材料、不同折按照设计要求组合起来, 每层的厚度为 $\lambda/4$ 波长, 一层为高折交替叠合而成。当光入射到高折射率层时, 反射光没有相移时, 反射光经历 180° 相移。由于层厚 $\lambda/4$ 波长 (90°), 光经历 360° 相移, 与经高折射率层的反射光同相叠加。这反射光叠加, 在滤波器前端面形成很强的反射光。在这高低, 大部分光成了透射光, 据此可以使之对一定波长范围呈阻带, 从而形成所要求的滤波特性。利用这种具有特定波长可以将不同的波长分离或者合并起来, 如图5所示。



采用DTF干涉滤波器型WDM器件的主要优点是设计与所用可以实现结构稳定的小型化器件, 信号通带较平坦, 与极化度特性很好, 可达 $0.001 \text{ nm} / ^\circ\text{C}$ 以下, 但通路数不会很多,

2.3 熔锥型波分复用器

熔拉双锥 (熔锥) 型光纤耦合器, 即将多根光纤在热熔加扭曲, 使其熔融在一起。由于不同光纤的纤芯十分靠近, 光波耦合达到所需要的耦合功率。熔锥型WDM器件制造简单, 应用更广泛。

熔锥型WDM器件的特点是插入损耗低 (最大值 $<5\text{dB}$, 典型器件, 此外还具有较好的光通路带宽 / 通路间隔比和温度稳定性, 复用波长数少, 隔离度较差 (20dB 左右), 一般不用在中。

2.4 集成光波导型WDM器件

(图略)

集成光波导型WDM器件是以光集成技术为基础的平面波导技术的潜在优点, 诸如适于批量生产、重复性好、尺寸实现复杂的光路、与光纤的对准容易等等, 因而代表了一种前平面波导型WDM器件有各种实现方案, 其中一种称为龙骨型。器件由2个星形耦合器经M个非耦合波导构成, 耦合波两端的星形耦合器由平面设置的两个共焦阵列径向波导构成路数大、紧凑、易于批量生产, 但带内频响尚不够平坦, 图波导WDM器件的结构原理。

2.5 各种WDM器件的性能比较

表1是各种WDM器件主要特性的比较结果, 需要注意特性化的, 表中数值只是大致范围, 仅供参考。

表1 各种WDM器件性能比较

器件类型	机理	批量生产	通路间 (nm)	通路数	串音 (dB)
衍射光栅型	角色散	一般	0.5~10	4~131	≤-30
DTF型	干涉/吸收	一般	1~100	2~32	≤-25
熔锥型	波长依赖性	较容易	10~100	2~6	≤-(15-45)
集成光波导型	平面波导	容易	1~5	4~32	≤25

在合波器上, 8~16路WDM系统, 几乎所有的公司都采用为波分复用器的合波器, 有的采用1:n, 有的出于线路保护器, 一路输出接工作通路, 另一个接保护通路。这主要是因隔离度好。缺点是引入的损耗大, 以1:8耦合器为例, 可以过上, 对于8~16路的WDM系统, 现在的厂家大部分选用了DTF平面波导型解复用器; 而对于16路以上的WDM系统, 复用器和

波导型复用器, 因为该类型复用器的损耗与通路数无关。

3 光放大器

在WDM系统中, 光放大器有3种应用: 发送侧波分复用器功率放大器, 线路上的光放大器——线路放大器, 接收侧解前置放大器。迄今为止, 人们已研究成功3种光放大器, 即: 性光纤拉曼放大器和掺稀土元素的光纤放大器。掺稀土元素铒光纤放大器(EDFA)和掺镨光纤放大器(PDFA), 其中, 窗口的光信号放大, 而PDFA适用于1310nm窗口的光信号。目前在WDM系统应用的就是掺铒光纤放大器EDFA。

3.1 光放大器原理

一个典型的EDFA由掺铒光纤、泵浦源和波分复用器组成, 泵浦源提供足够强的泵浦功率, 波分复用器将信号与泵浦器构成如图7所示。

(图略)

EDFA是利用激光泵浦石英光纤中掺铒离子(E^{3+})的受激辐射光信号的放大。由于光放大器有很宽频带一般在1530nm-1625nm的光系统提供了“透明”特性, 放大与信号码率和信号格式无关, 信号光同时放大。

泵浦源有两种, 即980nm和1480nm。980nm泵浦源可以仿效1480nm泵浦源有着更高的泵浦效率, 可以获得较大的输出功率(左右)。在实际的线路放大器应用中, 对于8路WDM系统, 大G. 652光纤的WDM系统主要是色散受限, 而非损耗受限, 因而功率衰耗, 提高EDFA的输出功率没必要; 采用980nm获得最佳系统性能。但是对于16路以上的WDM系统, 则采用了1480nm的分路比减少了可用功率范围, 必须采用功率更大的泵浦源, 一级采用980nm, 一级采用1480nm泵浦源。既改善了输出功率。但是, 出于激光安全性和光纤非线性的考虑, 输出功率以下, 这也是激光器3A的安全要求。

3.2 EDFA的增益平坦度

EDFA的增益。波长特性不平坦导致不同波长的接收光功率, EDFA系统尤其重要。在多波长级联EDFA系统中, 信号频带内

射) 噪声在每个EDFA得到累积, 累积的ASE噪声还会由于Ker的噪声, 扩展了信号频谱, EDFA级联数目较多时, 多级级联平坦, 可选用的增益区减小, 各波长信号的增益不平衡, 为解决增益均衡的途径首先是实现增益谱的平坦。

方法大体上可分为滤波器型和本征型两类: 滤波器型是在EDFA 1530nm的增益峰降低, 或专门设计其透射谱与掺铒光纤增益谱削平, 但结构工艺都较复杂, 附加损耗大, 输出功率会漏光纤或氟化物光纤。这类方法的最大优点是无需制作和引入以增大放大器的放大频谱范围。但氟化物光纤与石英光纤工艺和可靠性的诸多麻烦。

3. 3 掺铒光纤放大器的增益均衡技术

EDFA的增益均衡是一个重要问题。WDM系统是一个多波信号失去时, 由于增益竞争, 其能量会转移到存在的信号上高。在接收端, 由于电平的突然提高会带来误码, 而且在极路丢失时, 所有的功率都集中到一个波长上, 功率会达到强烈的非线性或接收机过载, 也会带来误码。

EDFA的增益控制技术有许多种, 典型的有控制泵浦源增益电路通过监测输入和输出功率的比值来控制泵浦源的输出功率, 保持(输出/输入)增益不变, 从而使EDFA保持输出信号电平的稳定。

另外, 还有饱和波长的方法。在发送端, 除了8(16)路信号外, 再发送另一个波长作为饱和波长。在正常情况下, 该波长的输出信号失去时, 饱和波长的输出功率会自动增加, 用以补偿丢失的信号, 从而保持EDFA输出功率和增益保持恒定。当线路的多波长信号输出功率会相应减少, 这种方法直接控制饱和波长激光器的泵浦功率快一些。

4 总结

本讲介绍了WDM系统中主要光电器件: 激光器、波分复用器、EDFA。模拟系统的性能很大程度上取决于各器件的特性, 因此WDM系统的性能有着重要影响。要想深入理解WDM系统, 我们应了解各器件的工作原理和特性。

第三讲 WDM系统技术规范

随着WDM系统的大规模建设,对标准的需要也越来越强;那样有严格统一的规范。主要原因在于SDH系统是ITU-T先制定再根据标准去制造产品,而WDM系统的发展却恰恰相反,是规范不一,都认为自己是最好的选择,因此到现在为止ITU-T没有制定。因此,为了使引进产品和国内自行开发的产品具有统一性,制定规范是必要的。

在制定我国WDM规范时,必须先确定波分复用系统的通信速率。16(8)波长的应用将是第一步。从各个公司现在推出的产品来看,100GHz的16波分系统。这主要有以下原因:(a)现实的需求。例如,16波分单向就可达到40Gb/s的传输速率,这足以满足100Gb/s的需求。(b)技术的可行性。当前波分复用器件和激光器元件的技术已经成熟。有鉴于此,我们所考虑的主要是用于干线系统的155nm波分复用技术。

从当前应用上看,WDM系统只用于2.5Gb/s以上的高速通信。在制定规范的过程中,我们主要考虑了基于2.5Gb/s SDH的干线网。目前干线网为SDH STM-16系统,即2.5Gb/s×N的WDM系统。对于承载信道的系统和其它速率(例如10Gb/s×N)暂不作要求。

在WDM系统规范中,只考虑了点到点的线性系统。目前干线网几乎无一例外的都是点到点的系统,而且大部分没有采用点到点的方式,采用了复用器/解复用器的背对背方式,因此我们制定规范时,而没有考虑环型或其它应用。

1 集成式系统和开放式系统

WDM系统根据其分类,可以分为开放式WDM系统和集成式

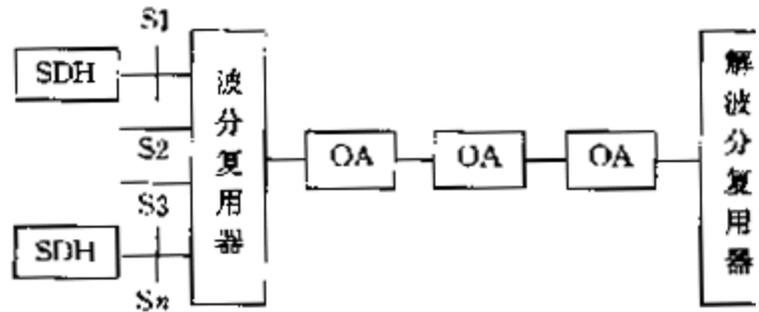
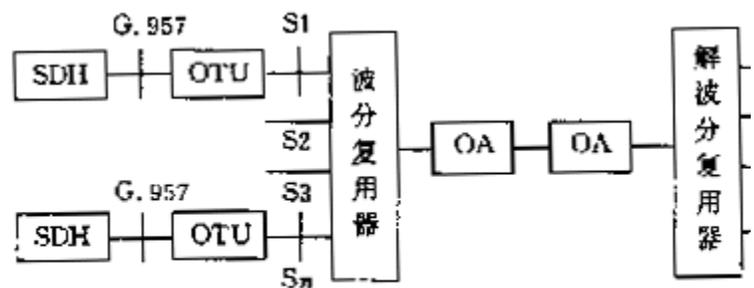


图1 集成式 WDM 系统

集成式系统就是SDH终端设备具有满足G. 692的光接口：离传输的光源（又称彩色接口）。这两项指标都是当前SDH的光波长和长受限色散距离的光源集成在SDH系统中。整个增加多余设备。但在接纳过去的老SDH系统时，还必须引入：的转换，而且要求SDH与WDM为同一个厂商，在网络管理上很开。集成式WDM系统如图1所示。

开放式系统就是在波分复用器前加入OTU（波长转换器换为标准波长。开放是指在同一WDM系统中，可以接入多家：的信号没有要求，可以兼容任意厂家的SDH信号。OTU输出端准的光波长、满足长距离传输的光源。具有OTU的WDM系统，G. 692接口，可继续使用符合G. 957接口的SDH设备；可以接：同厂家SDH系统工作在一个WDM系统内，但OTU的引入可能对：影响；开放的WDM系统适用于多厂家环境，彻底实现SDH与W：图2所示。



注：接收端的OTU是可选项

图2 开放式 WDM 系统

图3是一个波长转换器OTU。该器件的主要作用在于把非所规范的标准波长，以满足系统的波长兼容性。现在已商用

光/电/光(O/E/O)的变换,即先用光电二极管PIN或APD为电信号,然后用该电信号对标准波长的激光器重新进行调制的波长的光信号。

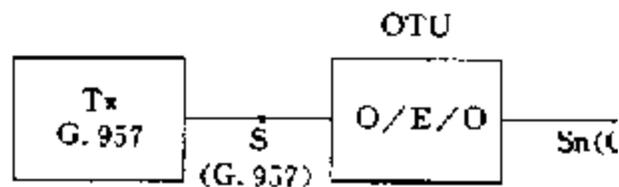


图3 符合G.957的发射机与波长转换器(OTU)合并

对于集成系统和开放系统的选取,运营者可以根据需要地区,可以选择开放系统,而新建干线和SDH制式较少的地区但是现在WDM系统采用开放系统的越来越多。

2 工作波长区的选择

对于常规G.652光纤,ITU-T G.692给出了以193.1THz:100GHz的41个标准波长(192.1~196.1THz),即1530~1565nm的范围内,考虑到当前干线系统应用WDM系统主要目的是为了扩容,EDFA的增益为零,因为在整个EDFA放大频谱1530~1565nm内,级联后的增益区很小,可选用的增益区很小,各波长信号的增益不平衡,必须且当前业务的需求并没有那么大的容量。综合各大公司的技术,16个波长更受青睐,西门子和朗讯都采用了这一波长区。EDFA的增益相对平坦,其增益差在1.5dB以内,而且增益的高增益区,见图4。在多级级联的WDM系统中,容易实现各区域位于长波长区一侧,很容易在EDFA的另一侧1530~1545nm区域为32通路的WDM系统。

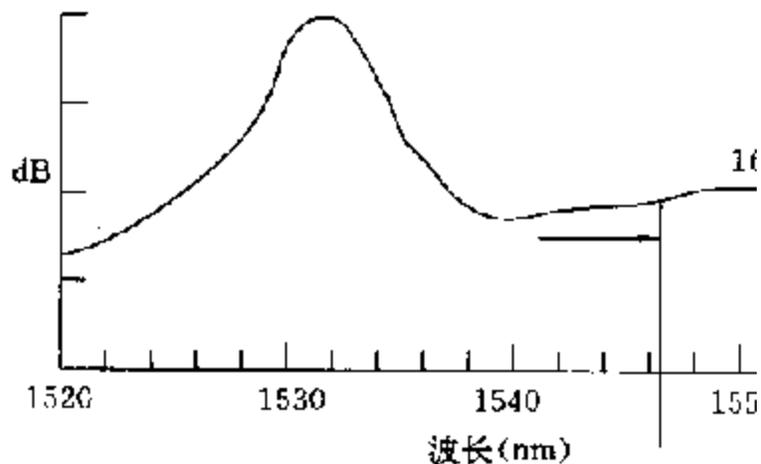


图 1 16 波长区的选择

16通路WDM系统的16个光通路的中心频率应满足表1的要求
光通路的中心波长应选表：中加*的波长。

序号	中心频率 (THz)	波长 (nm)
1	192.1	*1560.0
2	192.2	1559.5
3	192.3	*1558.0
4	192.4	1557.5
5	192.5	*1556.0
6	192.6	1555.5
7	192.7	*1554.0
8	192.8	1553.5
9	192.9	*1552.0
10	193.0	1551.5
11	193.1	*1550.0
12	193.2	1549.5
13	193.3	*1548.0
14	193.4	1547.5
15	193.5	*1546.0
16	193.6	1545.5

表1 16通路和8通路WDM系统中心频率

WDM系统除了对各个通路的信号波长有明确的规定外, 还对通路的中心频率偏移有明确的规定。通路中心频率偏移定义为通路实际的中心频率与通路对通路间隔选择100GHz的 $16 \times 2.5\text{Gb/s}$ WDM系统, 到寿命结束时中心频率偏移应小于 $\pm 20\text{GHz}$ 。

3 光接口分类

由于现在应用的WDM系统都是用于干线长途传输, 因而对光接口的要求很高, 不考虑两点之间的无线路光放大器的WDM系统。目前主要应用的是 $8 \times 22\text{dB}$ 和 $16 \times 22\text{dB}$ 的系统。

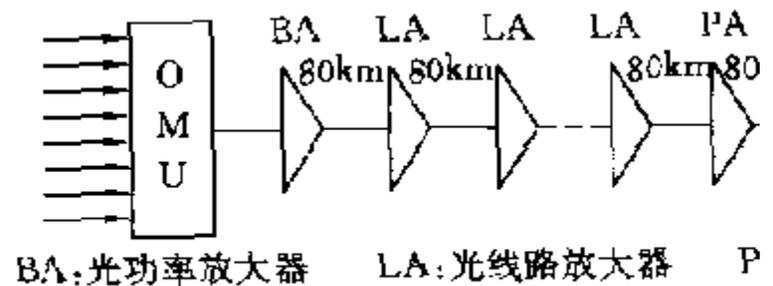


图5 $8 \times 22\text{dB}$ 系统构成

对于长途WDM系统的应用, 我们规定了3种光接口: 即 $8 \times 22\text{dB}$ 、 $16 \times 22\text{dB}$ 和 $32 \times 22\text{dB}$ 系统。其中22dB、30dB和33dB是每一个区段 (Span) 允许的损耗。3) 则代表区段 (Span) 的数目。

图5为 $8 \times 22\text{dB}$ 系统的示意图。该系统由8段构成, 每段22dB, BA和PA分别是功率放大器和预放大器, LA是线路放大器。以 0.275dB/km 为基础 (包括接头和光缆富裕度), 22dB对应 80km 。因此 $8 \times 22\text{dB}$ WDM系统可以传输 $8 \times 80\text{km} = 640\text{km}$ 的距离, 中间无电再生。

80km 比较符合我国中继段的情况, 可以满足大部分地区的中继段距离大多在 $50 \sim 60\text{km}$ 。另外 $8 \times 22\text{dB}$ 系统技术上性能好, 光信噪比 (OSNR) 比 $3 \times 33\text{dB}$ 和 $5 \times 30\text{dB}$ 要好 $4 \sim 5\text{dB}$ 。因此 $8 \times 22\text{dB}$ 系统是二级干线传输的优选系统。

考虑到西北地区有可能出现超长中继的情况, 增加了 $3 \times 120\text{km} = 360\text{km}$ 的系统, 以适应某些沙漠地区超长中继距离的需要。尚需要研究, 并结合我国实际情况, 在中继距离 80km 和 120km 之间进行选择。

(Span) 损耗30dB (传送距离为100km左右)、5个Span的系统为长中继距离, 多段数的补充, 也是 $5 \times 33\text{dB}$ 的替代。这样离由2种 (80km、120km) 增加到3种 (80km、100km和120km) 的可能性。

在WDM系统中, 目前的8通路系统不能被升级为16路系统, 不完全的16通路系统的子集, 否则都不能直接升级, 即没有运营者在建设WDM系统时, 应对本地业务量发展有着正确的估数。

4 光接口参数

在ITU-T G.692建议中, 对于点到点WDM系统的光接口可操作性, 我们重点参考了几家大公司的产品标准, 制定了增加了标准化程度, 具有较强的可操作性, 特别是考虑到高光信噪比要求, 合理地选择入纤功率, 并对开放系统和集成开放的WDM系统中, 对于OTU在发送端、再生中继器和接收端具体指标。考虑到维护人员的需要, 对EDFA增加了在线监测维护测试。

针对WDM系统的模拟性质, 我们特别制定了WDM系统接收值, 对于 $8 \times 22\text{dB}$ 的系统, 其光信噪比为22dB; 而对于 5×3 分别为21dB和20dB。因为系统的OSNR很大程度上决定于区段 (span) 的损耗越大, 则最后系统的性能越差。由于篇幅所不详述。

5 性能要求

目前, WDM系统还缺少一套衡量其传输质量的标准。虽: 衡量系统传输质量, 但还存在一定缺陷。当光信噪比 (OSNR) 系统的质量可以保证 (一般 $\text{BER} < 10^{-15}$)。当OSNR工作在临界OSNR就很难定量地评估信号传输质量; 再考虑到信号脉冲传时OSNR较高时相应的误码率有可能较差。因而承载信号的原域上进行评估。实际上国家骨干网的WDM系统是基于SI而其网络性能应该全部满足我国SDH标准规定的指标, 包括统在一个光复用段内, 只有一个电再生段, 没有任何转接,

衡量, 暂定采用复用段指标进行要求。该指标与具体WDM系:

开放式WDM系统引入了波长变换器OTU, OTU应具有和SDH
递特性和输入抖动容限。

6 光监控通路 (OSC) 要求

与常规SDH系统不同, WDM系统增加对EDFA监视和管理。
进行上下, 无电接口接入, 只有光信号的放大, 而且业务信
没有对EDFA进行控制和监控的字节, 因而必须增加一个电信
监控。现在经常采用的是在一个新波长上传送检测信号。

对于使用线路放大器的WDM系统需要一个额外的光监控
线路光放大器处进行上下。光线路放大器EDFA的增益区为1:
必须位于EDFA有用增益带宽的外面, 我们规定采用1510nm波
监控通路的接口参数见表2。

监控波长	1510nm
监控速率	2Mb/s
信号码型	CMI
信号发送功率	(0~7dBm)
光源类型	MLM LD
光谱特性	待研究
最小接收灵敏度	-48dBm

表2 监控通路的接口参数

7 WDM系统的保护

WDM系统线路保护主要有两种保护方式: 一种是基于单-
+1或1 : n的保护; 另一种是基于光复用段上保护OMSP, 右
行保护。

7.1 善于单个液长, 在snl 1层实施的1+1保护

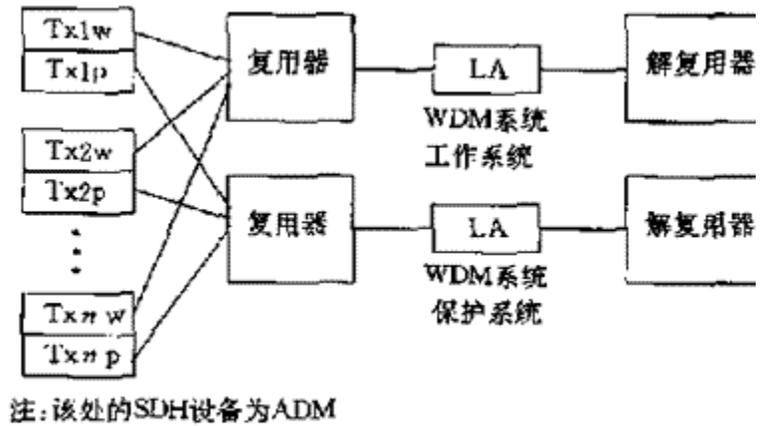


图6 基于单个波长,在SDH层实施的1+1

这种保护系统机制与SDH系统的: 1+1MSP类似, 所有的如图6所示, SDH信号在发送端被永久桥接在工作系统和保护这两个WDM系统收到的SDH信号状态, 并选择更合适的信号。高, 但是成本也高。与此原理相一致, 还可以实现基于单个n保护。

另外一种方式是基于单个波长、同一WDM系统内1: n路道作为工作波长, 1个波长通路作为保护。但是实际系统中, 设备的可靠性要差, 只对系统保护, 而不对线路保护, 实际

7.2 光复用段 (OMSP) 保护

这种技术是只在光路上进行1+1保护, 而不对终端设备: 分别使用1×2光分路器或光开关, 在发送端对合路的光信号信号进行选路。

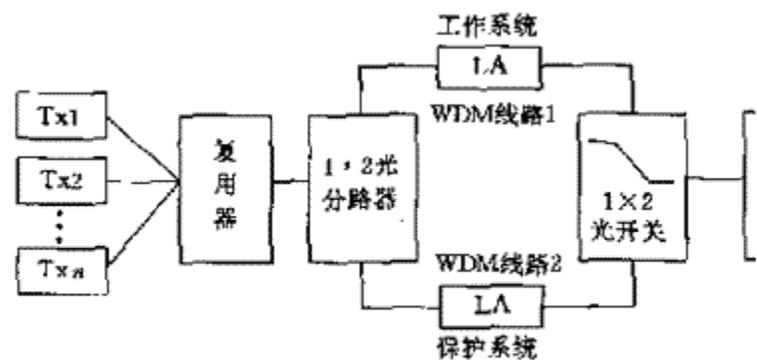


图7 光复用段(OMSP)保护

图7是采用光分路器和光开关的光复用段保护方案。在WDM的线路系统是备份的。人们也可以用N:2的耦合器来代替1:1的全保护，该方法减少了成本。光复用段保护只施才有实际意义。

8 安全要求

对于含光放大器的WDM系统，安全特别重要。因为一般作在高功率情况下，有的已经在光纤安全功率极限的边缘。合路入纤最大光功率电平为+17dBm。对链路切断情况下可能更应加以重视，必须保证系统能够及时关闭泵浦源和系统，

8.1 光“浪涌”的产生

使用EDFA放大光信号，当输入光功率迅速增大时，由于产生光浪涌，输出光功率出现“尖峰”，特别是对级联EDFA以到数十瓦，其原理如图8所示。

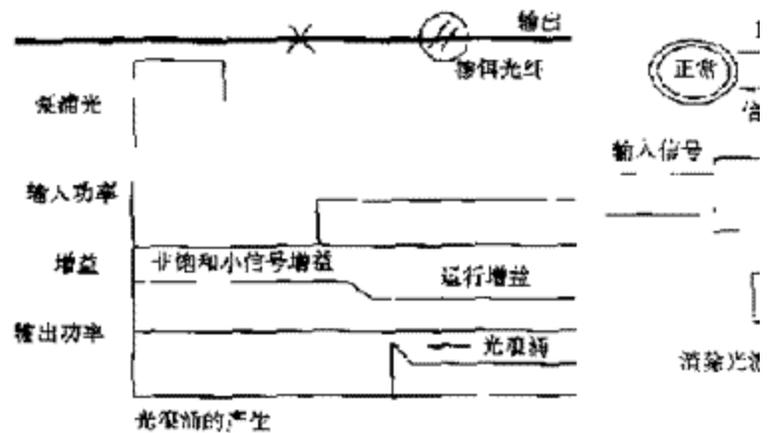


图8 光浪涌的产生及消除

在光缆突然被切断或其它原因导致信号丢失时，如果泵浦处于“状态，使高能级“泵浦”状态下的离子浓度达到最长时间恢复后，如果一个较高功率的信号进入掺铒光纤，离子发生受激辐射翻转，使EDFA的输出达到一个最大值[+30dB]是非常危险的，有可能“烧坏”光连接器和接收机。

8.2 光浪涌的防止 (Optical surge prevention)

采用图8所示的方法可以防止光浪涌。当光缆切断或其当时时间积累到一定长度, 应减小直至切断向EDFA馈送的泵功率。待光信号恢复一定时间后, 再恢复向EDFA泵功率。对于WDM的光信号都丢失时才启动EDFA自动功率关断 (APSD) 进程。能保持所有OSC (光监控通路) 功能的实施。

9 单纤双向传输

与单纤单向WDM相比, 单纤双向WDM系统可以减少光纤和向WDM设计比较复杂, 必须考虑多通过干扰 (MPI)、光反射音、两个方向传输功率电平数值、OSC传输和自动功率关断:

从现在得到的资料看: 大部分公司都是采用单纤单向系于光缆对比较紧张的情况, 目前只有Nortel采用了这种技术的机会并不多。因为它只适用于光纤芯数极少的地区, 而通上。这种技术适合在一些边远地区采用, 而边远地区的业务5Gb/s超高速容量, 真正实施的可能是622Mb/s或155Mb/s系统。

对于单纤双向系统, 我们没有完全予以禁止, 但也并不是要求时, 最好仍采用单纤单向的WDM系统, 只有在那些光: 必要考虑采用单纤双向系统。

10 总结

当前, WDM技术仍处于快速发展阶段, 今年内, 许多厂将投入商用, 另外 $N \times 10\text{Gb/s}$ 的WDM技术也发展很快, 我们前引进和建设的 $16(8) \times 2.5\text{Gb/s}$ WDM系统参数进行了具的WDM系统的光接口参数还没有规范。但是许多普遍性原则: 口分类、保护以及安全要求等在多通路WDM系统中仍将适用。 10Gb/s (2.5Gb/s) 和其它拓扑结构的WDM系统 (如WDM环网迅速发展的WDM技术的要求。

第四讲 WDM系统网络管理要求

在传送网体系结构中，SDH和WDM是分属于不同逻辑“层/户层/服务层”之间的关系。WDM系统管理的传输资源是波长（不确定），SDH系统管理的传输资源是VC-4（12）通道。WDM直接支持各种业务网。从WDM技术角度看，SDH和其他业务网以及SDH和其他业务网的网管系统都应独立于其承载层。WDM系统应与SDH彻底分开。

1 WDM与SDH网管系统的关系

SDH和WDM的相同点在于都是建立在光纤这一物理媒质上的技术。但两者也有本质的区别，WDM是更趋近于物理媒质系统，它是在光域上进行的复用，现在是点到点的应用，以后“传送网”。而SDH则是电路层实施的“光同步传送网”技术的国际标准，规定了复用方法，还描述了组网原则。相对于PDH、ATM信号一样，都只是WDM系统所承载的业务。也就是层与服务层的关系。现在WDM技术的应用似乎只有一个客户具有承载多客户信号的能力。

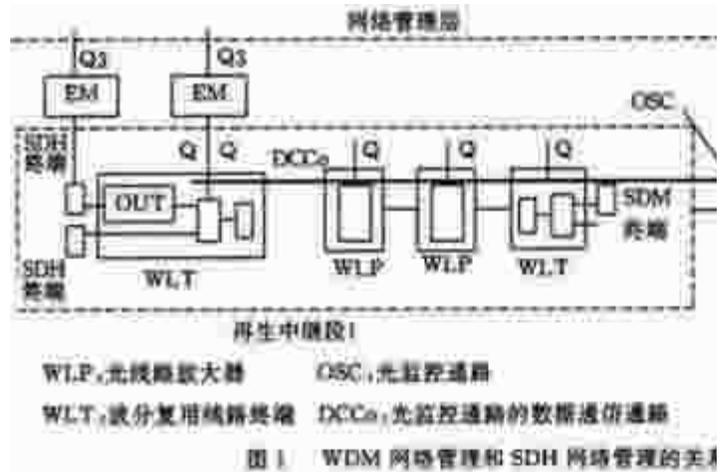
当前WDM系统承载的客户层信号都是SDH，也就是N（8/s）SDH的系统，但这并不是说WDM系统只能承载SDH信号。关键是与业务无关，对业务透明。它可以承载各种格式的信号，也可以承载其它任何不受限的数字信号或模拟信号。也应与其传送的信号的网络分离。WDM系统的网管系统独立管理，对现在的干线工程来讲，就是独立于SDH的网管系统。对光线路系统的管理，这包括波分复用器、光放大器、监控管理ADM、中继器等设备的配置、故障和性能管理，而不

另外WDM系统是未来光网络的一部分。随着光网络的迅速发展会越来越多，其网管系统也会日益庞大。为了适应未来有必要建立独立的WDM网管系统。这一系统与SDH网络层管理系统考虑两个网管系统的相互关系。

2 WDM网管系统配置

现阶段WDM系统至少应设置自己独立的网元管理系统（对上管理EDFA、波分复用器、波长转换器（OTU）和监控信道

能、故障、配置及安全等方面的管理。在WDM系统EM管理系统中，可以在WDM光复用段（即SDH再生段）设置一个EM管理系统，也可以设置多个EM管理系统，如图1所示。



在已建设的WDM系统干线中，在网管系统配置上，我们采用元管理系统EM的方法，实行分段管理。即每条干线在其经过一个EM管理系统，负责对本省的EDFA、WDM终端站等网元进行管理。在其经过的北京、河北、河南、湖北、湖南和广东都设置一个EM管理系统，没有配置可以管理整条干线的子网管理系统。从整体上了解整条干线工作的情况，现在各厂家都还没有开发出

在一个开放的WDM系统中，可以承载多家SDH设备，这在广东一汕头的8波长WDM系统为例，虽然该WDM系统是大唐系统，既有大唐电信的设备，也有西门子的SDH设备，两家公司都连接到WDM系统中。因此WDM系统的网元管理系统应独立于其

对于既能提供SDH设备，又提供WDM系统的厂家，当WDM和SDH采用相同的Q接口时，SDH和WDM可以采用同一网元管理系统。现在WDM产品都采用同一网管系统，在一个网管平台上实现对WDM系统的管理。但必须注意的是，其WDM网管系统必须可以分离并独立于SDH系统的能力。

当前，对于SDH、WDM的网管系统，可以采取物理集中管理。WDM的网络管理平台建在同一机房里，以方便故障的处理。至于如何划分WDM和SDH系统职责的问题，一般说来，WDM系统的网管系统负责路由、光缆线路和光信号质量的监测，不涉及业务层信号格

端VC-4和VC-12通道的性能监测及与SDH设备相关的告警。

3 网元管理系统

网元管理系统承担授权区域内各网络单元的管理，并统一管理网络中的各网元均应由一个管理软件和硬件平台进行管理界面上应能监视被管理的区域网络，并能显示被管理的整个（窗民图标、菜单、光标）方式的人机接口，网元管理系统管理网络中的每一个网元，告警和事件记录追踪至WDM系统

图2给出WDM系统网元划分的逻辑示意图，一个虚框内可元。在发送端和接收端，除EDFA、光监控通路外，网元还有器，对它们的控制也要统一纳入WDM系统的网元级管理。这和WDM系统的网元管理界限，一个面向SDH系统终端设备，另设备。



WDM系统的网元与网元之间通过光监控通路OSC中的DCC管信息。光监控通路工作在1510nm波长，速率为2Mb / s，我们规定了类似SDH系统D1~D12的DCC数据链路，专门用来因而OSC中的DCC通道是WDM网管信息的物理承载层。另外，我们还定义了2个字节用来承载EDFA中继站之间的公务电话，器站无法联络的问题。

网元管理系统（EM）应同时具有Q接口和Q3 / CORBA接口，EM与上级管理系统相连的接口为Q3 / CORBA。

4 网元管理系统的管理功能

WDM网元管理系统的管理功能包括故障管理、性能管理

4.1 故障管理

故障管理应能对传输系统进行故障诊断、故障定位、故障测试。

4.1.1 告警功能

网元管理系统应该至少能支持下列告警功能：

—可利用内部诊断程序识别所有故障并能故障定位至单所有告警信号及其记录的细节，如时间、来源、属性及告警

—应具有可闻、可视告警指示。

—告警历史记录应便于查看和统计。

—能够设置故障严重等级。

—激光器寿命预告警。

在WDM系统中，故障管理必须监视的告警参数：

(a) 光发射单元告警参数（SDH）终端

—激光器输出光功率值不足或过载

—输入信号丢失（LOS）

—发送器劣化

—激光器发送失效

—激光器寿命告警

—调制器输出光功率告警（采用啻酸啻调制器时）

(b) OTU

—激光器输出光功率值不足或过载

—输入信号丢失（LOS）

—发送器劣化

—激光器发送失效

—激光器寿命告警

—调制器输出光功率告警（采用铯酸铯调制器时）

—光输入信号电平过高或过低

(c) 光放大器

—输入合路信号丢失

—输入单波长丢失

—泵浦激光器偏流过高

—泵浦激光器温度过高

—监测失效。

(d) 接收单元ODU

—输入合路波长信号丢失

—单个波长丢失

—分波器温度控制告警（对采用温度敏感的分波器件）

(e) 光监控通路

—激光器发送失效

—光信号丢失

—光信号帧丢失

—光信号帧丢失

(f) 外部事件告警管理功能 (例如无人中继站的开门)

4.2 性能管理

故障管理中必须监视的基本参数也是性能管理必须监视还至少有以下管理功能:

—能对监控信道OSC的误码性能参数进行自动采集和分布式传给外部存储设备。

—能同时对所有终端点进行性能监视。

—能同时对性能监视门限进行设置 (如泵浦源功率、漉

—能存储和报告监控通路15min和24h两类性能事件数据

—能报告“当前”和“近期”两种性能监视数据。

4.3 配置管理

网元配置:

—网元 (包括各组成单元NE) 的初始化设置。

—建立和修改网络拓扑图。

—配置网元状态。

—NE的状态和控制。

—实际网络的配置应能按用户请求以图形方式在网元管

当前点到点WDM系统的配置功能还较少, 由复用器 / 解长上下, 没有波长直接上下和交叉连接能力, 配置功能很弱入, 其配置功能会大大加强。 4.4 安全管理

—安全管理应至少能提供下述管理功能:

—操作级别及权限划分。

—用户登录管理。

—口令管理。

—操作记录。

—安全检查, 如核查口令。

—安全告警。

—未经授权的人不能接入管理系统, 具有有限授权的人分。

5 本地维护终端LCT

本地维护终端LCT提供对所供设备的本地维护能力, 其元的管理功能。在没有网元管理系统的WDM终端站, 可以只规测试、维护。有些厂家的LCT具有远端接入能力, 可以查这在实际维护中有一定益处。运营者可以根据自己的需要, 入功能。

6 网元管理系统数据通道的保护

WDM系统的承载量很大, 其保护也十分重要。当某光纤路时 (如光纤段的两根光纤都断开时), 网元管理系统将无网管对整个WDM系统无法进行配置和实时的性能监测。为防果, WDM系统必须具有对监控通路 (OSC) 的保护功能, 有必通道保护。

一般的方法是除了光监控通道 (OSC) 中DCC通路承载网两个终端站还可以提供DCC通道的保护路由DCN (数据通道网或数据专线, 现在厂家大多采用IP或数据专线作为DCC的保中的两条光纤都被切断, 设在WDM系统终端站的EM管理系统访问到线路系统中的任何网元。如图3所示。

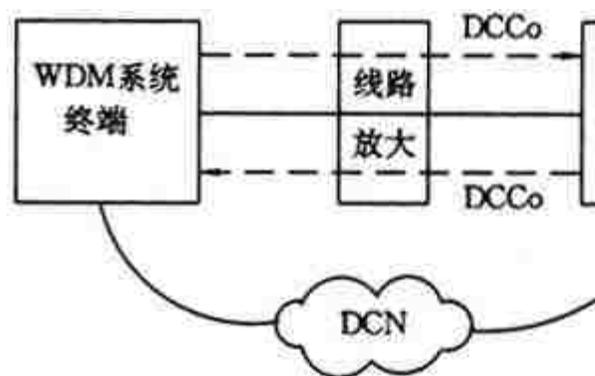


图3 DCC通道保护路由

7 结语

WDM网络管理系统是对WDM系统及光网络的最大考验，失者比较难于评估信号质量和系统传输性能，在光域上加入开发展。在功能完善的WDM网管系统出现之前，WDM系统还不能系统。

现在各厂商WDM系统的网管系统都还不尽完善，且功能上与ITU-T缺少明确统一的规范有关，另外与WDM系统发展的随着ITU-T“光联网”建议的成熟和光开销处理技术的发展，步完善起来。

第五讲 WDM系统测试及仪表

1 概述

随着国内多条干线WDM系统的开通，WDM系统测试和维护问题，WDM系统是一种光域的模拟系统，可看作平行许多光的光波长，共享一种传输媒质——光纤的系统。它与SDH系较大差异，除了常规数字系统的误码和抖动外，模拟量特别增加，例如光通道功率、中心波长、串音、光信噪比等。分析仪、多波长计的应用也有一些新参数。

2 WDM系统中测试的物理量

在常规SDH系统中, 主要是进行数字信号的性能测量, 测量的模拟量基本上限制在发送机的发送光功率和接收光功率。要测试的模拟量就大大增加, 如光信号波长、发送光功率、噪比等, 对光信号波长、光信噪比和串音的测试是WDM系统。试点还需要进行重复测试。WDM系统增加的主要测试参数有:

. 波长中心频率和波长间隔: 测量每个通路波长的精确度, 保证相邻波长不发生串扰。

. 光信噪比: 确定光信号的传输质量, 噪声的测量必须准确。

. 串音: 由于波分复用器 / 解复用器不完善带来的通路间相互干扰。

. 功率: 各参考点合路的总功率、各路的功率

. 光监控通路, 光监控通路的误码、抖动等。

下面分别进行具体介绍, 而对于与常规SDH系统类似或不同的测试项目, 不再赘述。

2.1 通路中心频率和中心频率偏移

WDM系统的一个重要特点是在光波分复用器处输入的信号, 各个通路的信号波长不同, 而且对中心频率偏移有严格要求。定义为通路实际的中心频率与通路中心频率标称值的差值。系统, 通路间隔选择200GHz, 到寿命终了时的波长偏移不大, 光信号的脉冲宽度应无限接近于0, 但实际产生的脉冲宽度。一个通路如果波长偏移过大, 就会造成通路间的串扰过大, 即另一个通路的脉冲边带上, 使被串通路的信号光特性和功率OSNR下降, 产生误码影响传输性能, 因此通路中心频率成为关键参数。通路中心频率定义为在该参考点测得的光信号的实点都需要逐通路地进行测试。

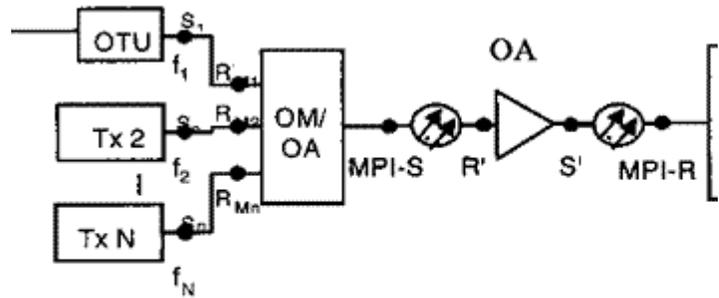


图1 WDM系统的参考配置

如图1所示，在图中的参考点已MPI-S、R'、S'、MPI-R中心波长，并与系统指标相比较是否相符。

通路间隔指相邻波长间的频率差别（或波长差异），我距的系统。对于 $8 \times 2.5\text{Gb/s}$ WDM系统，通道间隔为 200GHz 。 2.5Gb/s WDM系统，通道间隔为 100GHz （ 0.8nm ），相邻两路间隔。

2.2 光信噪比（OSNR）

光放大器是WDM系统的一个重要组成部分。EDFA在 1545nm 较平坦，EDFA输出的放大信号中有ASE噪声，即信号是叠加测量每通路信号的光功率并不能完全反映系统的工作情况，但ASE噪声也与它相当，实际上信号的劣化已很明显，但光WDM系统中引入了光信噪比的概念。每通路信号的光信噪比：噪声功率的比值，即

$$OSNR = \frac{S_{\text{signal}}}{N_{\text{noise}}}$$

量。光信噪比的定义是在 $\Delta\nu=0.1\text{nm}$ 带宽内光信号功率和噪声功率一般取峰峰值，而噪声的功率一般取两相邻通路的中间是一个十分重要的参数，对估算和测量系统的误码性能和实分重要的意义。

OSNR在多个参考点都需要逐通路地进行测试，如图1所示S、R'、S'、MPI-R都需要测量每个通路的OSNR，监测其是

2.3 光放大器和波分复用器件

对光放大器需要进行测试的项目较多，主要有如下指标

- . 输入功率范围;
- . 输出功率范围;
- . 工作带宽;
- . 小信号增益;
- . 饱和输出功率;
- . 噪声系数;
- . EDFA平坦度。

对光放大器的测试比较复杂, 需要集成化平台, 一般并设平台测试则误差过大, 因此对光放大器的某些参数只能创造条件, 观察光放大器的输出是否符合要求, 这也是目前情况其中实际测量较多的是EDFA的平坦度, 因为级联EDFA的WDM放大器的平坦度, 比较平坦的光放大器, 容易实现各通路杂的系统设计。光放大器噪声系数也非常重要, 对于WDM系: 要的影响。但该指标测量起来十分复杂, 且随着输入功率的护不需要测试。

波分复用器件也是WDM系统引入的新器件, 将不同光源: 器件称为合波器。反之, 经同一传输光纤送来的多波长信号的器件称分波器, 有时同一器件既可作分波器, 又可以作合

试项目包括。

- . 插入损耗;
- . 隔离度;
- . 极化相关损耗;
- . 温度特性;
- . 通带特性 (通路的3dB带宽和1dB带宽)。

其中最为重要的指标是隔离度。该指标的大小对信道的一般来说, 相邻通路的隔离度应在25dB以上, 非相邻通路的

波分复用器和光放大器的测试相对来说比较复杂, 涉及护只对系统指标进行测试, 而不会分离器件测试。 2.4 光

光监控通路是WDM系统的一个重要部分, 它传送的是WDM通路的运行状况会直接影响到整个WDM系统的运行状况, 对的。对光监控通路的测试项目主要包括发送光功率、发送波性和光监控通路的误码性能等, 监控通路波长和监控通路的一个项目。其中对于采用G. 704帧结构CRC-4校验的系统, 可以

2.5 WDM系统的传输性能

在WDM系统承载的SDH系统中, 相对于WDM系统, SDH只是量WDM系统传输质量时, 必须以SDH 2.5 Gb / s的信号作为标155Mb / s电接口的指标外, 系统必须增加对2.5Gb / s误码和好以2.5Gb / s的群路传送信号为标准。配备的误码仪必须可抖动测试。仪表具有2.5Gb / s的光口, 输出信号为满负载的可以输出16个VC-4级联的2.5Gb / s满负荷伪随机序列, 使我时更有说服力。主要增加的指标有:

- . 2.5Gb / s的BER性能;
- . 2.5Gb / s的输出抖动;
- . 2.5Gb / s的输入抖动容限。

开放式WDM系统引入了波长变换器OTU, OTU应具有和SDH样的抖动传递特性和输入抖动容限。这两项指标也是新增加

3 WDM系统测试仪表

WDM系统测试仪表有些与常规SDH系统是相同的, 如误码性能和抖动性能等, 示波器用于测量脉冲眼图。但是WDM系统不同, 这就决定了仪表有其特殊性, 如用光谱仪和多波长在详细介绍这两种仪表之前, 有必要介绍一些仪表参数的定

动态范围是指在强信号下测量弱信号的能力,即在特定光信号功率和相邻的比较低ASE噪声的能力。例如,对于测量光信号波长功率的同时,可以测量间隔0.4nm处比信号平。

分辨率带宽:一般定义仪表为对单色测试信号的3dB响应了仪表处理光通路间隔的能力。

光灵敏度:定义为能定量测量的最小光功率。主要取决于该值必须足够低,以测量光电器件的插入损耗和评估整个网

3.1 多波长计

多波长计多采用迈克尔逊干涉仪原理制造,它测量波长可达0.005nm。特别适合于测量波长间隔小(100GHz或更小)可以精确地确定DFB激光器的中心波长,以确认激光器是否多通路的中心频率。它所测量的波长数目主要取决于干涉仪(叶变换)的能力,一般通路数在40~100左右,并且可以测动态范围小,测量OSNR时精度稍差,误差一般在1~2dB。但比较小,操作比较方便。

在WDM系统中测量通路中心频率和中心波长漂移时多采用功率电平时也可以使用。现在市场上商用化多波长计有HP(表1是两种多波长计的性能比较。

表1 两种多波长计的性能比较

项 目	HP86120B
波长范围 (nm)	700~1650
波长精度 (nm)	0.005
OSNR测试范围 (0.1nm) (dB)	> 35

接收灵敏度 (dBm)	-40
电平测试范围 (dBm)	-40~+10
电平测试精度 (dBm)	≤0.5

3.2 光谱仪

光谱分析仪是在实验室应用较多的仪表, 它出现比较早, 有单光栅型、双光栅型, 本来并不是专为WDM系统设计的仪表。它测试信号波长和光信噪比。它的主要特点是动态范围高, 灵敏度好, 可以达到-90dBm; 分辨率带宽小, 一般<0.1nm。另外测量波长范围大, 一般在600nm~1700nm。但测量中心波长精度较大, 一般适合在实验室、机房中使用, 也适合在工程开通

各参考点通路信号光功率、各参考点光信噪比、光放大器增益平坦度的测试可以采用光谱分析仪, 它在测量单个波长且测量光信噪比也更准确, 但使用起来相对较复杂, 需要测量OSNR时需要设置滤波器的带宽为0.1nm。另外它和宽带光分复用器的通带特性。

HP公司用于WDM系统测试的光谱分析仪为HP86143A, Anritsu公司的光谱分析仪为OSA-155。

4 结论

本文着重论述了WDM系统所特有的一些测试项目, 如通带平坦度等, 介绍了光谱仪和多波长计等新引入的测试仪表和相应的性能进行了比较, 但局限于篇幅, 对具体的测量方法没有在国内的广泛使用, 这方面的经验会越来越多, 人们也会越来越

第六讲 光波分复用技术

-----WDM系统技术规范

随着WDM系统的大规模建设,对标准的需要也越来越强。那样有严格统一的规范。主要原因在于SDH系统是ITU-T先制定标准再根据标准去制造产品,而WDM系统的发展却恰恰相反,是标准不一,都认为自己是最好的选择,因此到现在为止ITU-T还没有制定WDM系统的规范。因此,为了使引进产品和国内自行开发的产品具有统一性,制定WDM系统的技术规范是必要的。

在制定我国WDM规范时,必须先确定波分复用系统的通信容量。16(8)波长的应用将是第一步。从各个公司现在推出的产品来看,100GHz的16波分系统。这主要有以下原因:(a)现实的需求。16波分单向就可达到40Gb/s的传输速率,这足以满足100Gb/s的需求。(b)技术的可行性。当前波分复用器件和激光器元件的技术已经成熟,可以用于波分复用。有鉴于此,我们所考虑的主要是用于干线系统的155nm波长的技术。

从当前应用上看,WDM系统只用于2.5Gb/s以上的高速传输。在制定WDM规范的过程中,我们主要考虑了基于2.5Gb/s SDH的干线网。目前干线网为SDH STM-16系统,即2.5Gb/s×N的WDM系统。对于承载信道的系统和其它速率(例如10Gb/s×N)暂不作要求。

在WDM系统规范中,只考虑了点到点的线性系统。目前干线网几乎无一例外的都是点到点的系统,而且大部分没有采用点到点的方式,采用了复用器/解复用器的背对背方式,因此我们制定规范时,而没有考虑环型或其它应用。

1 集成式系统和开放式系统

WDM系统根据其分类,可以分为开放式WDM系统和集成式WDM系统。

集成式系统就是SDH终端设备具有满足G.692的光接口:长距离传输的光源(又称彩色接口)。这两项指标都是当前SDH系统所不具备的。光波长和长受限色散距离的光源集成在SDH系统中。整个系统

增加多余设备。但在接纳过去的老SDH系统时,还必须引入;的转换,而且要求SDH与WDM为同一个厂商,在网络管理上很开。集成式WDM系统如图1所示。

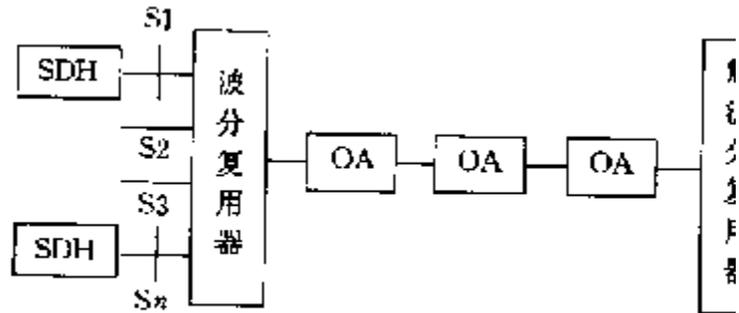
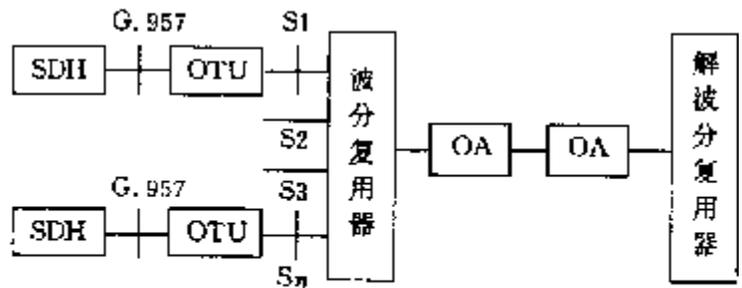


图1 集成式 WDM 系统



注:接收端的OTU是可选项

图2 开放式 WDM 系统

开放式系统就是在波分复用器前加入OTU（波长转换器）换为标准波长。开放是指在同一WDM系统中,可以接入多家;的信号没有要求,可以兼容任意厂家的SDH信号。OTU输出端准的光波长、满足长距离传输的光源。具有OTU的WDM系统,G.692接口,可继续使用符合G.957接口的SDH设备;可以接;同厂家SDH系统工作在一个WDM系统内,但OTU的引入可能对;影响;开放的WDM系统适用于多厂家环境,彻底实现SDH与WDM图2所示。

图3是一个波长转换器OTU。该器件的主要作用在于把非;所规范的标准波长,以满足系统的波长兼容性。现在已商用光/电/光(O/E/O)的变换,即先用光电二极管PIN或APD为电信号,然后用该电信号对标准波长的激光器重新进行调

求的光波长信号。

对于集成系统和开放系统的选取, 运营者可以根据需要地区, 可以选择开放系统, 而新建干线和SDH制式较少的地但是现在WDM系统采用开放系统的越来越多。

2工作波长区的选择 对于常规G. 652光纤, ITU-T G. 692: 准频率、间隔为100GHz的41个标准波长(192. 1~196. 1THz)但在实际系统中, 考虑到当前干线系统应用WDM系统主要目的的可能性几乎为零, 因为在整个EDFA放大频谱1530~1565nm曲线极不平坦, 可选用的增益区很小, 各波长信号的增益平衡措施, 并且当前业务的需求并没有那么大的容量。综合各1560nm波长区的16个波长更受青睐, 西门子和朗讯都采用了1560nm波长区间, EDFA的增益相对平坦, 其增益差在1. 5dB充分利用EDFA的高增益区, 见图4。在多级级联的WDM系统中均衡。另外该区域位于长波长区一侧, 很容易在EDFA的另一16个波长, 扩容为32通路的WDM系统。

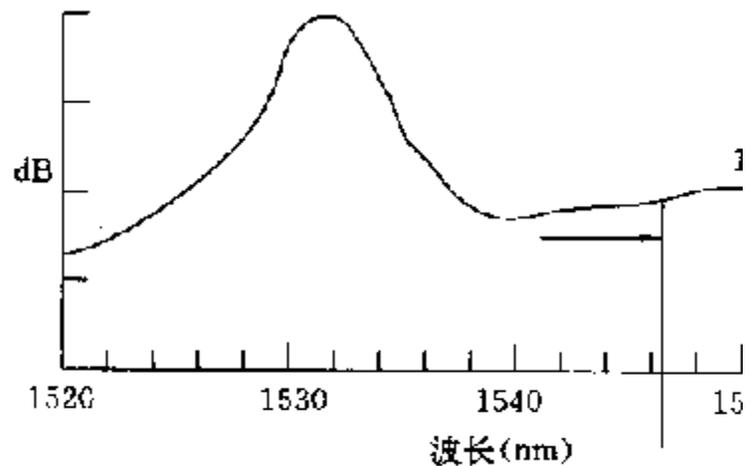


图 4 16 波长区的选择

16通路WDM系统的16个光通路的中心频率应满足表1的要光通路的中心波长应选表: 中加*的波长。

表1 16通路和8通路WDM系统中心频:

序号	中心频率 (THz)	波长 (nm)
----	------------	---------

1	192.1	*1560.
2	192.2	1559.7
3	192.3	*1558.
4	192.4	1558.1
5	192.5	*1557.
6	192.6	1556.5
7	192.7	*1555.
8	192.8	1554.9
9	192.	*1554.
10	193.0	1553.3
11	193.1	*1552.
12	193.2	1551.7
13	193.3	*1550.
14	193.4	1550.1
15	193.5	*1549.
16	193.6	1548.5

WDM系统除了对各个通路的信号波长有明确的规定外，还对通路的中心频率偏移进行了规定。通路中心频率偏移定义为通路实际的中心频率与通路对通路间隔选择100GHz的 $16 \times 2.5 \text{Gb/s}$ WDM系统，到寿命结束时中心频率偏移应小于 $\pm 20 \text{GHz}$ 。

3 光接口分类

由于现在应用的WDM系统都是用于干线长途传输，因而对光接口的要求较高，不考虑两点之间的无线路光放大器的WDM系统。对于长途WDM系统的应用，我们规定了3种光接口：即 $8 \times 22 \text{dB}$ 、 $8 \times 30 \text{dB}$ 和 $8 \times 33 \text{dB}$ 。其中22dB、30dB和33dB是每一个区段（Span）允许的损耗，3则代表区段（Span）的数目。

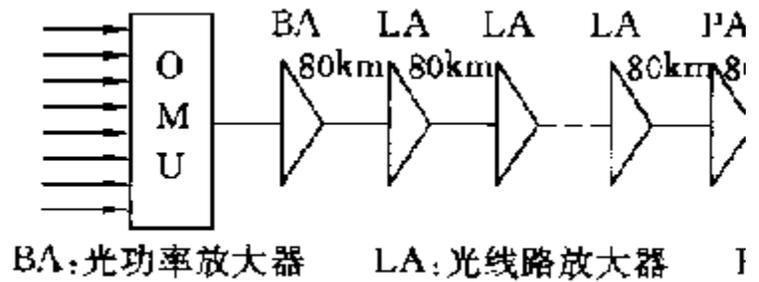


图5 8×22dB系统构成

图5为8×22dB系统的示意图。该系统由8段构成，每两·22dB，BA和PA分别是功率放大器和预放大器，LA是线路放大·0.275dB/km为基础（包括接头和光缆富裕度），22dB对应·22dBWDM系统可以传输8×80km=640km的距离，中间无电再生

80km比较符合我国中继段的情况，可以满足大部分地区·线的中继段距离大多在50~60km。另外8×22dB系统技术上·能好，光信噪比（OSNR）比3×33dB和5×30dB要好4~5dB。·内二级干线传输的优选系统。

考虑到西北地区有可能出现超长中继的情况，增加了3·120km=360km），以适应某些沙漠地区超长中继距离的需要·尚需要研究，并结合我国实际情况，在中继距离80km和120·（Span）损耗30dB（传送距离为100km左右）、5个Span的系·为长中继距离，多段数的补充，也是5×33dB的替代。这样·离由2种（80km、120km）增加到3种（80km、100km和120·性。

在WDM系统中，目前的8通路系统不能被升级为16路系·不完全的16通路系统的子集，否则都不能直接升级，即没有·营者在建设WDM系统时，应对本地业务量发展有着正确的估·数。

4 光接口参数

在ITU-T G.692建议中，对于点到点WDM系统的光接口·操作性，我们重点参考了几家大公司的产品标准，制定了·加了标准化程度，具有较强的可操作性，特别是考虑到高·

光信噪比要求,合理地选择入纤功率,并对开放系统和集成开放的WDM系统中,对于OTU在发送端、再生中继器和接收端具体指标。考虑到维护人员的需要,对EDFA增加了在线监测维护测试。

针对WDM系统的模拟性质,我们特别制定了WDM系统接收值,对于 $8 \times 22\text{dB}$ 的系统,其光信噪比为 22dB ;而对于 5×3 别为 21dB 和 20dB 。因为系统的OSNR很大程度上决定于区段(span)的损耗越大,则最后系统的性能越差。由于篇幅所不详述。

5 性能要求

目前,WDM系统还缺少一套衡量其传输质量的标准。虽:衡量系统传输质量,但还存在一定缺陷。当光信噪比(OSNR)统的质量可以保证(一般 $\text{BER} < 10^{-15}$)。当OSNR工作在临界OSNR就很难定量地评估信号传输质量;再考虑到信号脉冲传时OSNR较高时相应的误码率有可能较差。因而承载信号的层域上进行评估。

实际上国家骨干网的WDM系统是基于SDH系统的多波长系全部满足我国SDH标准规定的指标,包括误码、抖动和漂移。内,只有一个电再生段,没有任何转接,因而不能用通道排用段指标进行要求。该指标与具体WDM系统光复用段长度无:

开放式WDM系统引入了波长变换器OTU,OTU应具有和SDI递特性和输入抖动容限。

6 光监控通路(OSC)要求

与常规SDH系统不同,WDM系统增加对EDFA监视和管理。进行上下,无电接口接入,只有光信号的放大,而且业务信没有对EDFA进行控制和监控的字节,因而必须增加一个电信监控。现在经常采用的是在一个新波长上传送检测信号。

对于使用线路放大器的WDM系统需要一个额外的光监控:线路光放大器处进行上下。光线路放大器EDFA的增益区为1:必须位于EDFA有用增益带宽的外面,我们规定采用 1510nm 波

监控通路的接口参数见表2。

表2 监控通路的接口参数

监控波长	1510nm
监控速率	2Mb/s
信号码型	CMI
信号发送功率	(0~7dBm)
光源类型	MLM LD
光谱特性	待研究
最小接收灵敏度	-48dBm

7 WDM系统的保护

WDM系统线路保护主要有两种保护方式：一种是基于单+1或1:n的保护；另一种是基于光复用段上保护OMSP，右行保护。

7.1 善于单个液长，在snl 1层实施的1+1保护

这种保护系统机制与SDH系统的：1+1MSP类似，所有的如图6所示，SDH信号在发送端被永久桥接在工作系统和保护这两个WDM系统收到的SDH信号状态，并选择更合适的信号。高，但是成本也高。与此原理相一致，还可以实现基于单个n保护。

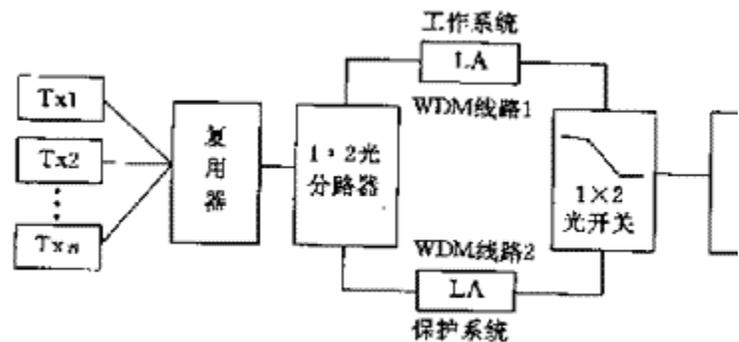


图7 光复用段(OMSP)保护

另外一种方式是基于单个波长、同一WDM系统内1:n路

道作为工作波长, 1个波长通路作为保护。但是实际系统中, 设备的可靠性要差, 只对系统保护, 而不对线路保护, 实际

7.2 光复用段 (OMSP) 保护

这种技术是只在光路上进行1+1保护, 而不对终端设备。分别使用1×2光分路器或光开关, 在发送端对合路的光信号信号进行选路。

图7是采用光分路器和光开关的光复用段保护方案。在WDM的线路系统是备份的。人们也可以用N: 2的耦合器来代替。相对于1+1的全保护, 该方法减少了成本。光复用段保护只施才有实际意义。

8 安全要求

对于含光放大器的WDM系统, 安全特别重要。因为一般作在高功率情况下, 有的已经在光纤安全功率极限的边缘。合路入纤最大光功率电平为+17dBm。对链路切断情况下可能更应加以重视, 必须保证系统能够及时关闭泵浦源和系统,

8.1 光“浪涌”的产生

使用EDFA放大光信号, 当输入光功率迅速增大时, 由于产生光浪涌, 输出光功率出现“尖峰”, 特别是对级联EDFA以到数十瓦, 其原理如图8所示。

在光缆突然被切断或其它原因导致信号丢失时, 如果泵浦于泵浦“状态, 使高能级“泵浦”状态下的离子浓度达到最长时间恢复后, 如果一个较高功率的信号进入掺铒光纤, 将离子发生受激辐射翻转, 使EDFA的输出达到一个最大值[+30dB]是非常危险的, 有可能“烧坏”光连接器和接收机。

8.2 光浪涌的防止 (Optical surge prevention) 采用光浪涌。当光缆切断或其它原因引起LOS被检出时, 当时间直至切断向EDFA馈送的泵功率。而当链路恢复时, 应待光信号复向EDFA泵功率。对于WDM系统, 只有当所有主通路的光信号功率关断 (APSD) 进程。APSD实施时, 不影响并且能保持功能的实施。

9 单纤双向传输

与单纤单向WDM相比,单纤双向WDM系统可以减少光纤和向WDM设计比较复杂,必须考虑多通过干扰(MPI)、光反射音、两个方向传输功率电平数值、OSC传输和自动功率关断。

从现在得到的资料看:大部分公司都是采用单纤单向系于光缆对比较紧张的情况,目前只有Nortel采用了这种技术的机会并不多。因为它只适用于光纤芯数极少的地区,而通上。这种技术适合在一些边远地区采用,而边远地区的业务5Gb/s超高速容量,真正实施的可能是622Mb/s或155Mb/s系统。

对于单纤双向系统,我们没有完全予以禁止,但也并不是要求时,最好仍采用单纤单向的WDM系统,只有在那些光:必要考虑采用单纤双向系统。

10 总结

当前,WDM技术仍处于快速发展阶段,今年内,许多厂将投入商用,另外 $N \times 10\text{Gb/s}$ 的WDM技术也发展很快,我们前引进和建设的 $16(8) \times 2.5\text{Gb/s}$ WDM系统参数进行了具的WDM系统的光接口参数还没有规范。但是许多普遍性原则:口分类、保护以及安全要求等在多通路WDM系统中仍将适用。 10Gb/s (2.5Gb/s)和其它拓扑结构的WDM系统(如WDM环网迅速发展的WDM技术的要求。

第七讲 密集波分复用(MWDM)和稀疏波分复用(CWDM)

定义和概述

定义

所谓密集波分复用(Dense Wavelength Division Multiplexing),人们常说的DWDM,指的是一种光纤数据传输技术,这一技术位并行传输或者字符串行传输方式在光纤内传送数据。

概述

本文将引领读者了解可伸缩的DWDM系统在促使服务供应

带宽需求这一领域所具有的重要性。DWDM是光纤网络的重要协议、ATM和同步光纤网络/同步数字序列（SONET/SDH）协议、多媒体、数据和语音等数据都通过统一的光纤层传输。

1. 当前通信网络所面临的问题

为了理解DWDM和光网互联的重要性，我们就必须在通信当前面临何种问题这一大前提下来讨论DWDM技术所带来的网络的设计和建设时期，工程设计人员必须对网络未来的带宽需求，美国等地区铺设的大多数网络对带宽的需求估计都是基于泊松（Poisson）概率分布模型等。结果呢，网络带宽按照某种统计假设条件给出，比如，一般认为个人在通常的情况下只会使用6分钟的网络带宽。然而，这一数学模型并没有考虑（这一业务的数据流量的年增长率是300%）、传真、多条电话会议、数据和视频传输等业务而产生的数据流量。如果考虑的用户使用模型就和现有的设计初期估计大大不同了。实际中，许多人平均使用网络带宽的时间是180分钟甚至超过1个

显而易见，运营商们迫切地需要大量的网络容量来满足需求。据估计，仅在1997年，通过一对光缆传输的长途电话的传输速率就达到了100Gbps（百万比特每秒）。当数据传输速度以Gbps单位计算的网络传输1000本图书的信息。可是，到了今天，假如有1百万个并发的视频节目或者使用新出现的网络视频应用，那么，在这速率就必须达到太比特级（万亿比特每秒：Tbps）。当数据量达到1000Gbps的时候，在一秒钟的瞬间之内，网络就可以传输2000万个并发的全部日报的数据量。

当然，谁也不可能准确地预见到网络带宽的需求增长的速度。通过研究预测：从1994年到1998年，美国长途交换网营运公司（LEC）的网络容量会增长7倍，而美国的本地交换网营运公司（LEC）的网络容量会增长32倍，而另一家网络新增容量就达到了它在1991年的整个网络规模。还有家公司未来4年内将达到每半年扩张一倍的增长速率。

除了消费者的带宽需求爆炸性地增加以外，众多服务供应商的带宽需求即将用尽的窘迫局面。有一份产业报告指出：在1995年

部分平均在网络中占到了70%到80%之多。现在, 许多电信达到了100%的有效利用率上限。另外还有一个窘迫的难题: 网一种物理网络之上部署和集成五花八门的多种通信技术。洋竞争压力迫使运营商们一方面必须提供在建设和运营成本上且另一方面他们还要尽可能地在已经埋设的现有网络基础之好, 辛苦出现了DWDM技术, 正是DWDM为这些运营商们提供了解决方案(参看图 1)。

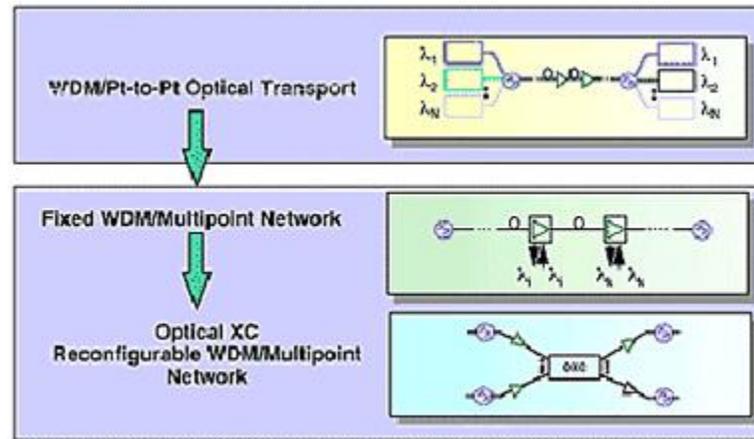


图1 从光纤传输到光网互联: 光子层的

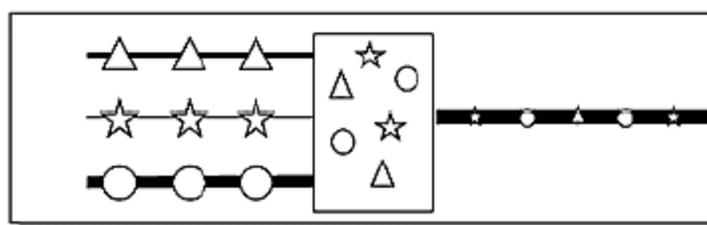
使用DWDM技术可以让服务提供商提供传统的IP over A^r载语音等传输方式所带来的电子邮件、视频和多媒体业务, 些不同数据格式的情况之下——不管他们是IP、ATM还是SOI等地向这些不同的传输方式提供统一的带宽管理功能, 所有通过采用DWDM技术的光层得以传输。这种统一管理功能可以过单一网络就足以满足顾客的带宽需求。

运营商要想在商业运营上获得成功, 其中的一个关键要载平台, 这个平台能够统一承载各种通信技术并且同这些通台还应该让运营商具备能把当前和新一代技术集成起来的能

2. 解决带宽危机

面对以上三个问题: 日益增长的服务需求、光缆余量开理。服务提供商必须找到一条在经济上可行的解决方案。降易见的措施就是铺设更多的光缆, 对那些铺设新光缆的成本说, 这一措施可以证明是最为经济的解决方案。但是, 铺设

供应商一定能提供新型服务，或者也不能让运营商们获得光力。第二项措施是使用时分复用技术TDM来增加数据传输速率的间隔以便更多的数据得以在同一时间内被传输（参看图的有效容量。其实，这也就是产业内目前已经采用的方案（等）。不过，当服务供应商仅仅使用这一措施时，他们的跳跃性，意味着网络容量的增长很不平滑，很有可能最终让多的带宽，从某种意义上来说，这是很多运营商所不愿意见和投资都会增长得令人头痛不已。以SONET技术为例，从10量层次就到了40 Gbps（这一令许多人深信不疑的巨大跃进不太可能的）。采用SONET的北美传输网络和采用SDH的国际技术。



- **Combines traffic from multiple inputs onto one common high**
- **Allows high flexibility in managing traffic; fixed bandwidth**
- **Requires electrical mux/demux function**

图2 增长的网络容量—TDM

电信产业采纳了SONET或SDH标准以提供标准的同步光纤活性以匹配当前和未来的数字信号。SONET或者SDH通过定义口来实现以上的目标。比方说，终止SONET网络的终端会引号，这些信号在成为STS - 1的数据负载（SONET网络帧结构以电信号的方式被复用，STS - 1负载随后被复用并以单一速率些标准速率是：OC - 3、OC - 12、OC - 48乃至最终高达OC - 类似的帧结构，其信号速率可以达到STS - 1到STM - 64范围。

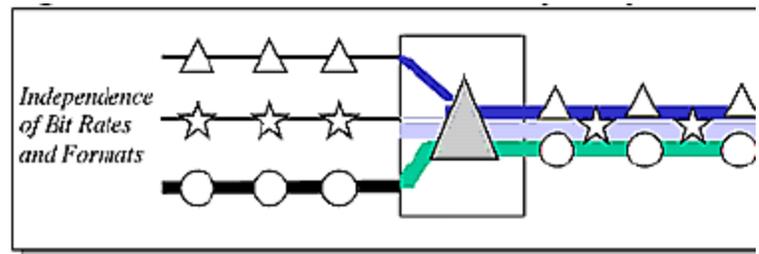
SONET和SDH是两种密切相关的标准，就是这两种标准为基础。这两种标准决定了传输接口的参数、传输的速率、传输式乃至实现高速传输所需要的运行、管理、维护和提供（O式意味着通过光缆系统流动的激光信号和外部时钟保持着同光缆系统传输语音、数据和图象的数据流可以很平稳、规则

激光都可以很容易地被对端识别出来。

3. 容量扩充和灵活性: DWDM

服务提供商还可以选择的第三种方式就是密集波分复用把引入的光信号分配给特定频带内的指定频率（波长，1nm一根光纤中去，采用这种方式就可以大大增加已铺设光缆的（incoming）信号并不在光层终止，接口的速率和格式就可服务提供商把DWDM技术和网络中现有的设备集成起来，同时没有得以利用的大量带宽。

DWDM可以把多个光信号搭配起来传输，结果这些光信号大并且通过单一的光纤传输，网络的带宽也就大大增加（参信号都可以设置为不同的传输速率（OC - 3/12/24等）和不同数据等）。比方说，某个DWDM网络可以在DWDM基础上混合OC - 192（10 Gbps）两种速率的SONET信号。从而获得高过用DWDM的系统在达到以上目标的同时仍然可以维持和现有性能、可靠性和稳固性——甚至过之而无不及。今后的DWDM增长之多的OC - 48以达到200 Gbps的传输速率或者高达40波长Gbps的传输速率，这个带宽已经足以在一秒钟之内传输9万



- Merges *optical* traffic onto one common fiber
- Allows high flexibility in expanding bandwidth
- Reduces costly mux/demux function, reuses *existing* op
- Individual channels use original OAM&P

DWDM = Dense WDM

图3. 增加的网络容量—WDM

实现这种高速、大容量传输能力的关键技术就是光放大光谱频带之上并根据现有的光纤进行了优化，这样就可以使

波信号，从而在无须将其转换为电信号的情况下扩大其传输器在实践中运用证明承载100个通道（或者波长）的光波信号用这种放大器的网络可以非常轻松地处理太比特级的信息。网络甚至可能一次传输全世界所有的电视频道节目或者同时传

以公路做比喻，一根光纤也可以看作一条多车道公路。用该公路的一个车道，通过在这唯一车道上加快汽车的驾驶网络中，DWDM的采用好比为把后面的汽车放到了公路上没有设光纤的波长数目）得以获得难以置信的巨大带宽。另外还不关心跑在自己上面的车流都是些什么类型。结果呢，跑在“们可以装载ATM信元、SONET和IP包。

4. 容量扩充潜能

采用DWDM，服务供应商可以建立一种“随心所欲增长带宽增加当前和未来新一代TDM系统以实现事实上无休止的网络：可以让服务供应商灵活地扩充其网络中的任意部分，这是其绝对优势。运营商还可以籍此解决因为高带宽需求而产生网在两节点之间存在多环交叉而产生光纤冗余的地区，该技术

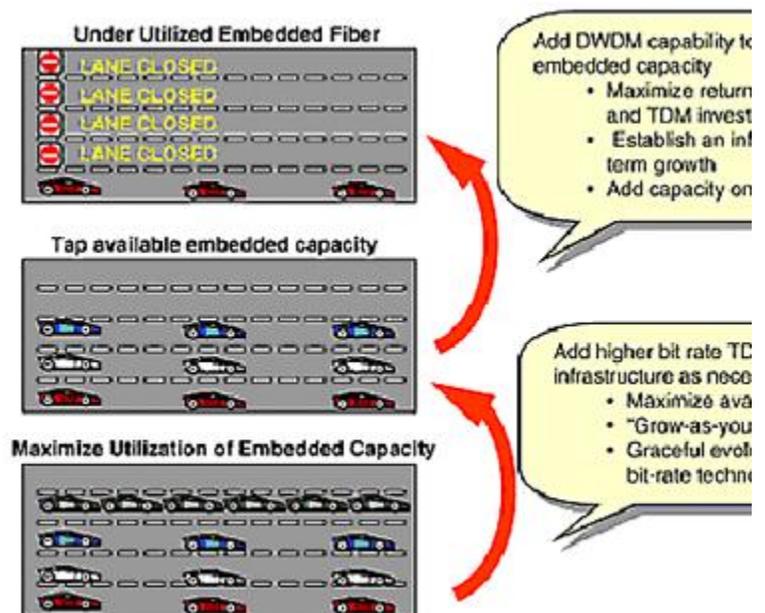


图4. 容量扩充的发展：长期策略

服务供应商总是在不断地搜寻新兴的、富有创造性的同时他们还希望这些方式可以完全满足其顾客五花八门的需

好地满足以上的要求。比如, 服务供应商可以针对不同的用波长, 向带宽使用率比较高的商务用户出租单独的波长而不

和使用中继器的网络应用相比, DWDM网络还增加了网络对寻求有效降低初始网络投资的长途通信服务供应商来说是统的光纤放大器可以让服务供应商通过接收和直接放大光信号得以节约投资。此外, DWDM还允许服务供应商在 $1.55\mu\text{m}$ 为运行DWDM。比如, DWDM系统可以在一根光纤上复用最高16个再生器放置地点按16的因数来降低放大器的数量。在长途网产生更少的信号干扰并且提高信号的传输效率。

5. DWDM增量性增长

DWDM网络设计目标是: 为急于解决用户日益增长的带宽供漂亮的网络拓展方案。由于DWDM网络可以实现必要的容量技术下的基础网络可以视为解决以上问题的最佳解决方案。骤, 服务供应商就有可能在部署长期运营的网络同时减低其

某些业界分析人士热切地称赞DWDM是满足更多带宽需求是, 这些专家也注意到要实现其目标也是有条件的: DWDM系管每光纤接口8或16个通道的OC - 48系统现在看来有点超前两年内保持其高效运转的网络而言是必要的。

由于OC - 48终端技术和相关的运营支持系统(OSS)和配, 服务供应商就有可能首先扩展已经连接到他们网络的TI OC - 192系统就可以在以后增加以建立容量扩大到40 Gbps或

6. 光层作为承载层

光网除了能提供巨大的带宽容量以外, 光层还是运营商术融合为统一物理网络的唯一方式。DWDM系统在同一根光纤据格式无关等特性, 同时还可以接受任何接口速率的组合形OC - 3、- 12、- 48或者- 192)。如果某家运营商同时运营ATM信号就不必复用到DWDM网络承载的SONET速率。由于光, 载信号, 运营商籍此可以很快地在网络中引入ATM或者IP数: 光网互联还有一个重要的优点: 在光网这条公路上, 任何类跑。

但是, DWDM也不过是全光网络互联和实现光层承载之意味着服务供应商可以在网络的不同节点上对数据流量实现SONET流量的SONET层。光波长增加/减少 (OWAD) 技术就实现增加或者减少光纤中的波长数而无须SONET终端的存在。但最: 管理的灵活性和交叉连接能力。和OWAD和DWDM相比, 光交叉 供应商创建灵活、大容量、高效的光网, 同时还具备完整的术已经成为今天的现实: DWDM从1995年起就已经运用于长途化, 第一部OXC则在1997年面世。

7. DWDM系统关键特性

可接受的理想DWDM系统应该具备某些共有的关键特性。这些特性以便运营商意识到该技术的巨大潜能。以下的问题 DWDM系统是否符合要求。

系统重用现有的设备和光缆设施吗?

2.5 Gbps 级别的DWDM系统应能完全利用现有的设备和

系统既稳固可靠吗?

经过良好工程设计和建设的DWDM系统提供自身的可靠性余。虽然滤波器经常受到潮湿环境的影响, 但现在这已不成

激光泵有连接器吗? 或者, 它们直接接合在光放大器内光放大器具有两个关键部件: 掺铒光滤波器和放大器。光激活铒元素时, 铒就会起到增益媒质的作用把引入的激光器而不是直接接合, 表面轻微的污垢就可能破坏连接器。

在增加或者减少通道的时候需要人工干预吗?

当我们增加或者减少光通道数量以达到最优的系统性能调节。这一点非常重要, 因为, 如果高能系统内只有一个通会导致系统性能的降低。另一方面, 功率太低则会导致放大

系统使用氟化物或者硅基光纤放大器吗?

在1530- 到1565-纳米光谱内, 备有滤波器的硅基光放能表现都不错。不过, 氟化物光放大器要实现起来成本较大性尚未经过检验。

系统的波长数量和传输速率可升级吗?

尽管对各种DWDM系统来说这个答案都是肯定的, 但对此进行果服务供应商采用某种特定的方式把他们的网络组装成一个能会发生以下情况: 网络需要更大的功率或者附加的信噪比商把通道数量或者比特率加倍的时候就需要额外附加3分贝

系统提供遵守标准的维护接口吗?

DWDM 系统下可以广泛使用STL 1接口。接口应当适应那案。

8. 小结

光网互联提供了支持现有的和刚出现技术的骨干, 同时量。通过光交叉连接而得以实现的全光网(不只是点对点但至少复用器和光交换机提供了满足现有和未来通信需求的统一动数以万亿比特计的信息和经济的投资可以让服务供应商批化, 同时使他们获得了满足未来带宽需求的能力。

稀疏波分复用 CWDM

DWDM(密集波分复用)无疑是当今光纤应用领域的首选不少手头不够宽裕的运营商颇为踌躇。有没有可能以较低的呢? 面对这一需求, CWDM(稀疏波分复用)应运而生。

稀疏波分复用, 顾名思义, 是密集波分复用的近亲, 它一、CWDM载波通道间距较宽, 因此, 同一根光纤上只能复用“稀疏”与“密集”称谓的差别就由此而来; 二、CWDM调制DWDM采用的是冷却激光。冷却激光采用温度调谐, 非冷却激光一个很宽的波长区段内温度分布很不均匀, 因此温度调谐实很高。CWDM避开了这一难点, 因而大幅降低了成本, 整个CI 30%。

CWDM用很低的成本提供了很高的接入带宽, 适用于点对各种流行的网络结构, 特别适合短距离、高带宽、接入点密楼内或大楼之间的网络通信。尤其值得一提的是CWDM与PON用。PON是一种廉价的、一点对多点的光纤通信方式, 通过波长信道都可作为PON的虚拟光链路, 实现中心节点与多个

输。

目前,有几家公司正推出与CWDM相关的产品。LuxN公司模块支持8个CWDM信道,或者支持4个CWDM信道加16个DWDM信道。LuxN公司签署长期采购协议,用包含Wi deWave模块的WavSy:亥俄等地部署千兆以太网。Ocul ar公司推出的采用CWDM技术1000两个系列的交换机,其最大特色在于能为高端用户提供服务。

但是,CWDM是成本与性能折衷的产物,不可避免地存在专家指出,CWDM目前尚存在以下4点不足:一、CWDM在单根:数较少,导致日后扩容成本较高;二、复用器、复用解调器降低,这些设备不能只是DMDM相应设备的简单改型;三、C网节点间距离较短,运营商用在CWDM设备扩容上的钱完全可得到更好的效果;四、CWDM还未形成标准。

第三章 DWDM(密波分复用)技术

第一讲DWDM发展回顾

目前,DWDM光传输系统研发进展迅速,实验室中的DWDM:6.4Tb/s,2000年商用系统的容量将达到1.6Tb/s。复用30~范围使用,100~160波长的系统近期也即将商用。实验室:长。

1996年美国的Bell Labs首先进行总容量1Tb/s级的DWDM:新记录,然而此记录不到一年就被刷新。在OFC '97上NEC宣:输实验,号称世界最新记录。但此记录仅保持了两年又被:完成了3Tb/s OTDM+DWDM的传输实验, Siemens公司也发表:3.2Tb/s的传输实验,打破了NEC的记录。同年 Nortel 在Tel:界记录,即单信道80Gb/s和总容量6.4Tb/s的最高记录。但:久,在11月份的新发明展示会上,Lucent宣布实现了单信道:传输实验记录,又把Nortel 运运地抛在了后面。下一个世界:风云再起。

国内DWDM市场也一样, 几家主要通信设备供应商纷纷过时间国内市场也被炒得火热。在众多竞争对手中, 烽火通信8、16、32波长DWDM产品, 从1998年开始先后应用于军网和等地的干线工程; 在2000年上海国际信息通信展上又展示了备, 并且此前已完成了8510Gb/s DWDM传输试验, 16510Gb/s中。能够生产10Gb/s SDH设备的厂家为数不多, 烽火通信研国内领先, 而且在国际上也跻身于少数可提供10Gb/s SDH动力的国产设备厂商, 烽火通信目前可为市场提供从155 Mb/s: 10Gb/s的SDH和20Gb/s、40Gb/s、80Gb/s DWDM系列设备; 下10Gb/s的DWDM系统、 ETDM 40Gb/s系统、OTDM 40Gb/s 系统

第二讲DWDM与光纤技术的发展

目前, DWDM技术已成为通信网络带宽高速增长的最佳解网、城域网还是接入网, 都将以DWDM为传输平台, 基于DWDM信网的基础物理层, 因此, 光纤技术的发展与DWDM技术的应编者

DWDM对光纤性能的要求

DWDM是密集的多波长光信道复用技术, 光纤的非线性效应的主要因素。光纤的非线性效应主要与光功率密度、信道密切相关: 光功率密度越大、信道间隔越小, 光纤的非线性种非线性效应之间的关系比较复杂, 其中四波混频随色散按DWDM技术的不断发展, 光纤中传输的信道数越来越多, 信道越来越大, 从而使光纤的非线性效应对DWDM传输系统性能的非线性效应的主要方法是改进光纤的性能, 如增加光纤的有率密度; 在工作波段保留一定量的色散, 以减小四波混频效率, 以扩大DWDM系统的工作波长范围, 增加波长间隔; 同时振模色散, 以及在减小四波混频效应的基础上尽量减小光纤应单信道速率的不断提高。

适应DWDM的新型光纤的发展

目前广泛应用的G. 652光纤虽然有利于克服光纤的非线性的较大色散, 不能满足信道速率高速化的要求; G. 653光纤能满足信道速率高速化的要求, 但在DWDM应用中存在严重的色散位移单模光纤, 这种光纤在G. 653光纤的基础上, 优化光纤的工作波段具有少量的色散, 以有效地克服四波混频。1994年, 国外公司先后推出了“True Wave”(真波)和G. 655标准。后来, 国内外大公司又纷纷推出了大有效面积G. 655光纤, 这两种光纤属于第二代非零色散光纤, 它比第一代线性效应。最近, 第三代的非零色散光纤又已推出, 即色散G. 655光纤, 是适应DWDM应用最先进的光纤。

1997年, 武汉邮电科学研究院在国内率先推出了G. 655。已研制出最先进的色散平坦型大有效面积G. 655光纤, 并相道和直埋的36芯、48芯和66芯的层绞式G. 655光缆产品, 大程。烽火公司先进的光纤光缆技术配合即将推出的国内最先传输系统和光传送网络产品, 将有力地推动我国通信市场的建设中发挥重要作用。

第三讲DWDM技术走势

DWDM关键技术都已成熟, Gb/s级系统得到广泛应用, TI计划中。目前DWDM技术体现出如下发展趋势。首先是系统件过提高通道速率、增加复用波长数量、扩宽应用波长范围等大。 编者

提高通道速率。

最先实用的DWDM系统多基于2.5Gb/s的通道速率, 现在正在实用, 基于40Gb/s速率的系统已进入实验阶段, 技术E术可将单通道速率提高至ETDM方式无法达到的高度, 目前的达到了160Gb/s。

增加复用波长数量。

8、16、32个波长的DWDM系统已经大范围使用, 100个;而实验室里的成绩尤为突出, 已完成了1022个波长的复用试

时, 要增加复用波长数量, 必须缩窄通道间隔。目前的DWDM为25GHz。

扩宽应用波长范围。

除了充分利用目前使用的 "C波段"的传输能力外, DWDM向"L波段"发展, 甚至有人将L波段的长波长一侧延伸到1700nm应用也在计划之中。当1385nm波长的OH⁻吸收峰被削减之后连接起来。对于比较短距离的传输, 应用波长范围将扩宽至

DWDM技术的另一个发展趋势是光再生中继器的开发。由于色散、波形恶化等因素限制, DWDM信号经过数个光放段传输后必须可能无限制地长。随着通道速率提高、复用波长数量增多, 产生的电再生方式, 设备庞杂、建设和运行成本高。开发光再生十分必要, 对提高光网络的透明性、实现全光传送网络也是必要的。实验性光再生中继器, 但其性能还不能与电再生中继器相提并论, 其中的所有波长一起进行再生处理, 仍在研究开发中。

DWDM技术已经开始向城域网发展, 日趋价廉的DWDM产品和改造颇具有吸引力。各大设备厂商自1999年开始研制用于城域网, 称已开发出城域DWDM产品; 网络运营商也看好DWDM设备, 中国电信、网通、铁通这些老牌电信运营商都在考察这项技术并进行试验。据Lucent市场将从1998年的2亿美元发展到2003年的10亿美元, 大约范围内城域网和局域网所应用的DWDM设备市场年增长率为60%。34.2亿美元, 而长途传输用DWDM设备将为30.4亿美元。

DWDM虽然已经广泛应用, 但基本上处于利用DWDM终端与线路的状态。随着光节点技术的进步, 单纯点间传输的现状设备构成光环路, 最终还要采用OXC构成可选择波长路由的节点。OXC已逐步投入商用, OXC也开始提供小规模的产品。

进程 ■■

