

第 3 章 DWDM 技术

【基础知识】

光纤具有巨大的潜在带宽，为了充分利用这些带宽，可以在不同频段上安排不同的光信道，光的波分多路就是光的频分多路 (FDM)，习惯上称为波分多路复用 (WDM)。WDM 是在同一根光纤中同时传输多个不同波长光信号的技术。WDM 技术的出现使光传输系统容量成百倍地增长。

3.1 WDM 技术概述

3.1.1 工作原理

光波分复用 (WDM) 技术就是在单根光纤内同时传送多个不同波长的光波，使得光纤通信系统容量得以倍增的一种技术。WDM 在发送端采用光复用器 (合波器) 将不同波长的信号与光载波合并起来送入一根光纤进行传播；在接收端，再由一个光解复用器 (分波器) 将这些承载不同信号波长的光载波分开。这种技术不仅适用于单模或多模光纤通信系统，同时也适用于单向或双向传输。WDM 系统的原理如图 3.1 所示。

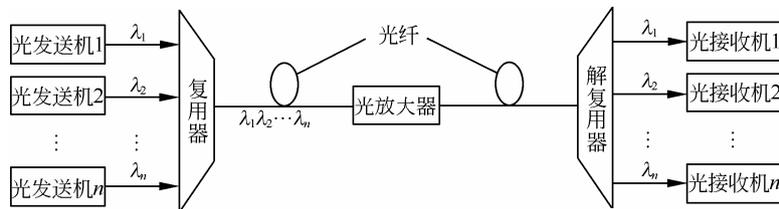


图 3.1 波分复用系统原理图

WDM 系统有以下优点。

(1) 可以充分利用光纤的带宽资源，使一根光纤的传输容量比单波长增加几倍、几十倍、几百倍，可大量节约光纤。

(2) 对不同的信号具有很好的兼容性。利用 WDM 技术，不同性质的信号 (音频、视频、数据、文字、图像等) 可以调制在不同的波长上，各个波长相互独立，对数据格式、

速率的传输是透明的，因此可以同时进行传输。

(3) 透明传输。波分复用通道对数据格式是透明的，即与信号速率及电调制方式无关。一个 WDM 系统可以承载多种格式的“业务”信号。

(4) 网络生存性好。利用 WDM 技术选路实现网络交换和恢复，从而可能实现未来透明的、具有高度生存性的光网络。

(5) 可以灵活组网。使用 WDM 的选路技术，可以在不改变光缆设施的条件下，调整光通信网的网络结构，在通信网设计中具有灵活性和自由度，便于提高系统功能和扩展应用范围。

按照工作波长的波段不同 WDM 系统可以分为两类：一类是在整个长波长波段内信道间隔较大的波分复用，称为粗波分复用 (CWDM)；另一类是在 1550nm 波段的密集波分复用 (DWDM)。

早期的波分复用 (WDM) 通常只具有 1310nm 和 1550nm 两个通道 (波长) 的系统，由于没有合适的光放大器，它只为一些短距离的应用提供双倍的传输容量。随着 1550nm 窗口掺铒光纤放大器的商用化，人们不再利用 1310nm 窗口而采用 1550nm 窗口传送多路光载波信号。相对于原来的 2 波长 WDM 系统，1550nm 窗口波长间隔更加紧密，只有 0.8~2nm，甚至小于 0.8nm，人们称这种波分复用系统为密集波分复用系统 (DWDM)。DWDM 和 WDM 的工作原理相同。

3.1.2 WDM、DWDM 与 CWDM

WDM 是波分复用，分为 DWDM 和 CWDM。DWDM 是密集波分复用，波段间隔密集 (0.4nm 或 0.8nm)，波道数量多，技术要求高，主要使用在干线上，本地网和城域网也大量使用。单波道传输速率高，系统容量大。CWDM 是粗波分复用，波道间隔宽 (20nm)，波道数量少 (稀疏波分复用系统一般工作在 1260~1620nm 波段，间隔为 20nm，可复用 16 个信道，其中 1400nm 波段由于损耗较大，一般不用)，技术要求低，主要使用在城域网的接入网中。CWDM 调制激光采用非冷却激光，而 DWDM 采用冷却激光，整个 CWDM 系统的成本只有 DWDM 的 30%。

CWDM 与 DWDM 相比，区别主要体现在以下几个方面：

(1) CWDM 载波通道间距较宽，一根光纤上只能复用 2~16 个波长的光波，复用波长数目较 DWDM 少。

(2) DWDM 采用的是冷却激光，而 CWDM 调制激光采用非冷却激光，成本要低得多。

(3) CWDM 对光纤介质没有特殊要求，应用范围较广，但传输距离一般限于城域网范围；在干线部分 DWDM 仍然有着无法替代的优势。

(4) CWDM 比 DWDM 具有更大的成本优势。

DWDM 无疑是当今光纤应用领域的首选技术，但价格比较昂贵。CWDM 体现了 DWDM 的很多优点，同时成本在可接受的范围内，成为不少大城市的城域接入、中小城

市的城域骨干网以及企业校园网等应用环境的低成本解决方案。

目前，粗波分复用商用产品进入市场主要依靠的是低成本，以及易部署和易维护方面的技术优势。但 CWDM 还存在一些不足之处，主要表现在：

- (1) 提供多业务的能力有待增强。
- (2) 业务汇聚能力比较薄弱。
- (3) 网络应用结构简单，网络保护能力差。

目前，DWDM 技术已经成为通信网络带宽高速增长的最佳解决方案。无论是光域网、城域网还是接入网，都将以 DWDM 为传输平台。基于 DWDM 的光传送网将构成整个通信网的基础。

一般情况下，如果不特指 1310nm 或 1550nm 的两波长波分复用系统，WDM 指的就是 DWDM 系统。

3.1.3 基本类型

对于 DWDM 系统，从不同的角度可以划分为不同的类型。按 DWDM 的工作方式（或传输方向）分，可分为双纤单向传输方式和单纤双向传输方式；按 DWDM 的接口方式分，可分为集成式 WDM 传输系统和开放式 WDM 传输系统。

1. 双纤单向传输系统

双纤单向传输是最常使用的一种方式，即在一根光纤中只完成一个方向光信号的传输，反向光信号的传输由另一根光纤来完成，如图 3.2 所示，这种方式同一波长或波长组在两个方向上可以重复利用。

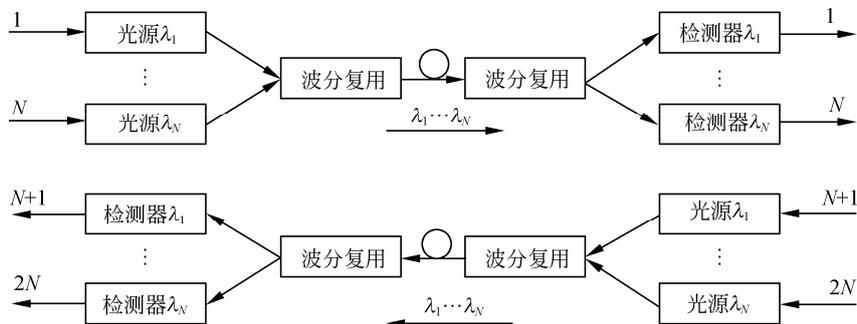


图 3.2 双纤单向传输的 WDM 系统示意图

双纤单向传输系统能充分利用光纤巨大的带宽资源，能较好地发挥 DWDM 系统的扩容优势，该方式比较灵活方便。

2. 单纤双向传输

单纤双向传输系统是在一根光纤中实现两个方向光信号的同时传输，两个方向的光信号应安排在不同波长上。如图 3.3 所示，单纤双向传输系统允许双向全双工通路通信，但

是其技术要求比双纤单向传输系统高。

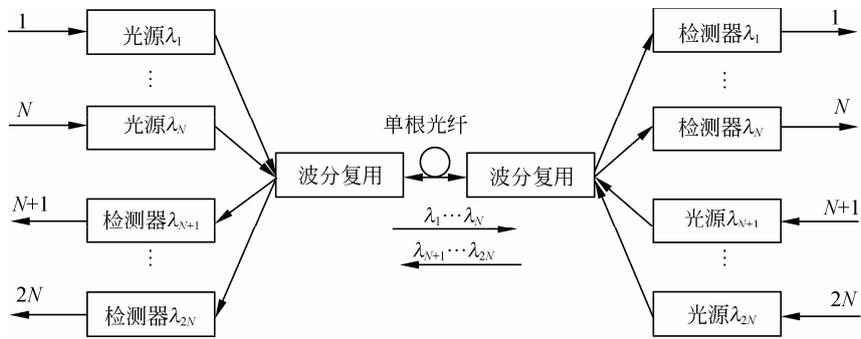


图 3.3 单纤双向传输的 WDM 系统示意图

单纤双向传输允许单根光纤实现双向传输业务，节省了纤芯和系统器件，但系统需要解决双向传输中光波的反射问题，在进行线路放大时还要采用双向光纤放大器。

3. 开放式 DWDM 系统

它的特点是对复用终端光接口没有特别的要求，只要求这些接口符合 ITU-T 建议的光接口标准。DWDM 系统采用波长转换技术，将复用终端的光信号转换成指定的波长，不同终端设备的光信号转换成不同的符合 ITU-T 建议的波长，然后进行合波，如图 3.4 所示。

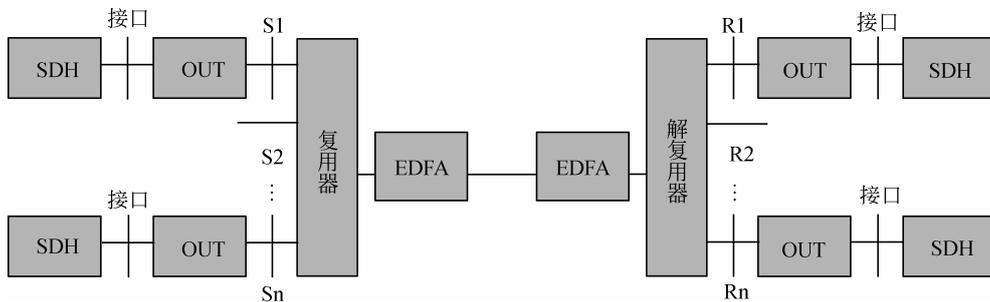


图 3.4 开放式 WDM 系统的组成

4. 集成式 DWDM 系统

集成式 DWDM 系统没有采用波长转换技术，它要求复用终端的光信号的波长符合 DWDM 系统的规范，不同的复用终端设备发送不同的符合 ITU-T 建议的波长，这样他们在接入合波器时就能占据不同的通道，从而完成合波，如图 3.5 所示。

根据工程需要可以选用不同的应用形式。在实际应用中，开放式 DWDM 和集成式 DWDM 可以混合使用。

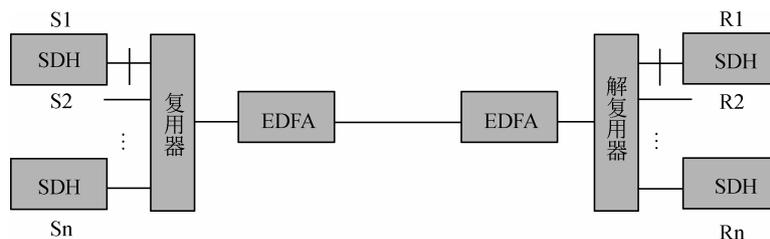


图 3.5 集成式 WDM 系统的组成

3.2 DWDM 系统组成

一般来说，WDM 系统主要由以下 5 部分组成：光发射机、光中继放大、光接收机、光监控信道和网络管理系统，如图 3.6 所示。

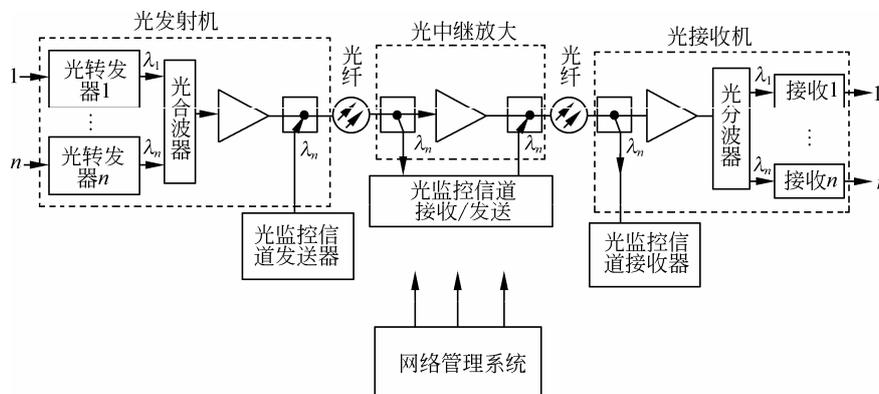


图 3.6 WDM 系统总体结构示意图

光发射机是 WDM 系统的核心，根据 ITU-T 的建议和标准，除了对 WDM 系统中发射激光器的中心波长有特殊的要求外，还需要根据 WDM 系统的不同应用（主要是传输光纤的类型和无线电中继传输的距离）来选择具有一定色度色散容限的发射机在发送端首先将终端设备（如 SDH 端机）输出的光信号，利用光传送单元（Optical Transponder Unit, OTU）把符合 ITU-T G.957 建议的非特定波长的光信号转换成具有稳定的特定波长的光信号，利用合波器合成多通路光信号，通过光功率放大器（BA）放大输出通路光信号。

经过长距离光纤传输（80~120km）后，需要对光信号进行光中继放大。目前使用的光放大器多数为掺铒光纤放大器（EDFA）。在 WDM 系统中，必须采用增益平坦技术，使 EDFA 对不同波长的光信号具有相同的放大增益，同时，还需要考虑到不同数量的光信道同时工作的各种情况，能够保证光信道的增益竞争不影响传输性能。在应用时，可根据具体情况，将 EDFA 用作“线放（LA）”、“功放（BA）”“前放（PA）”。

在接收端，光放置放大器（PA）放大经传输而衰减的主信道光信号，采用分波器从主信道光信号中分出特定波长的光信道。

光监控信道的主要功能是监控系统内各信道的传输情况。

网络管理系统通过光监控信道物理层传送开销字节到其他节点，或接收来自其他节点的开销字节对 WDM 系统进行管理，实现配置管理、故障管理、性能管理、安全管理等功能，并与上层管理系统（如 TMN）相连。

组成模块主要包括：

- (1) 光转发器/光波长转换器（OTU）。
- (2) 波分复用器件（分波/合波器）无源部分。
- (3) 光放大器（光后置放大器（OBA），光线路放大器（OLA），光前置放大器（OPA））。
- (4) 光监控信道/通路（OSC）。

3.2.1 光波长转换器

根据光接口的兼容性 DWDM 系统可以分成开放式和集成式两种系统结构。集成式系统要求接入光接口满足 DWDM 光接口标准（即 ITU-T G.692 波长标准）；开放式系统在波分复用器前加入了光波长转换器(OTU);将 SDH 光接口(即 ITU-T G.957)转换成符合 ITU-T G.692 规定的接口标准。

OTU 的基本功能是完成 G.957 到 G.692 的波长转换的功能，使得 SDH 系统能够接入 DWDM 系统，如图 3.7 所示。

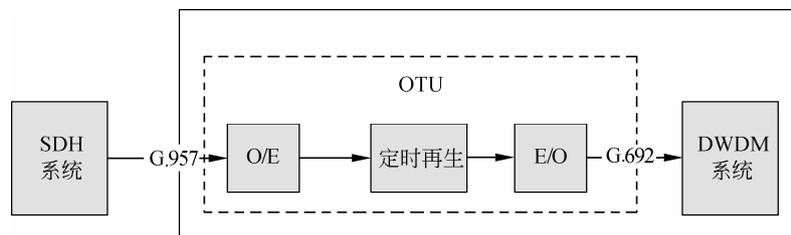


图 3.7 OTU 的功能示意图

另外，OTU 还可以根据需要增加定时再生的功能。没有定时再生电路的 OTU 实际上只是完成波长转换，适用于传输距离较短的系统。

3.2.2 光复用器和光解复用器

DWDM 的基本原理是在发送端将不同波长的光信号组合起来并耦合进光缆线路上同一根光纤中进行传输，在接收端将组合波长的光信号进行分离，并做进一步处理后恢复出原信号送入不同终端。因此光复用器件（合波器）和光解复用器（分波器）是波分复用系统的核心部件，其特性好坏在很大程度上决定了整个系统的性能。

光波分复用器的种类很多，大致可以分为 4 类：干涉滤光器型、光纤耦合器型、光栅型、阵列波导光栅（AWG）型。

通常对波分复用器件的基本要求有：

- (1) 插入损耗小；
- (2) 偏振灵敏度低；
- (3) 隔离度大；
- (4) 带内平坦；
- (5) 复用通路多；
- (6) 温度稳定性好；
- (7) 机械尺寸小，防震性能好等。

在目前的 DWDM 系统中，小于 32 路波道的系统主要采用多层介质薄膜技术，随着阵列波导（AWG）器件的发展，高于 32 路波道的系统一般采用 AWG 器件。

3.2.3 光放大器

放大器用来提升光信号，不需要转换光信号到电信号，补偿由于通过长距离传播而导致的功耗或衰减。在小于 65km 的链路上通常并不需要光放大器。

在光放大器研制成功之前，主要采用光电混合中继器（或称再生器）放大光信号。再生器首先将光纤中送来的光信号转换为电信号，然后对电信号进行处理，最后将电信号转换为光信号送到光纤中去。

尽管再生器对于单波长低速率的通信很适用，但对于高速率的多个波长系统显然是相当复杂的：每一个波长就需要一个再生器，如有 N 个波长就需要 N 个这样的再生器，造价是相当高的。另一方面，对于很高的数据速率，电放大器的实现代价也是很大的。

补偿光纤损耗的最有效方法是用光放大器直接对光信号进行放大，提高光信号功率，而无须转换成电信号。

目前在长途干线和 DWDM 中广泛使用的光放大器是对单个或多个波长光信号直接放大。

光纤放大器有两类。一类是利用在光纤纤芯掺入稀土元素（如铒、镨等）构成的放大器，如掺铒光纤放大器（EDFA）、掺镨光纤放大器（PDFA）等；另一类是利用光纤中的非线性效应所构成的放大器，如受激布里渊散射放大器（SBA）、受激拉曼散射放大器（SRA）。

其中 EDFA 适合长波长 1550nm 窗口的光信号放大，而 PDFA 适合 1310nm 窗口的光信号放大。

光放大器的主要特性有：增益、增益效率、增益波动、增益带宽、增益饱和以及噪声。

- (1) 增益是输出光功率与输入光功率的比值（以 dB 为单位）。
- (2) 增益效率是增益相对于输入光功率的函数。

(3) 增益带宽是放大器放大信号的有效频率范围。

(4) 增益饱和, 增益饱和时增益随信号功率的增加而减小。

(5) 增益波动是在增益带宽内的增益变化范围(以 dB 为单位)。

(6) 与放大光信号有关的噪声包括两个方面: 光场噪声和强度/光电流噪声。光场噪声中最主要的噪声是光放大器中输出的 ASE(放大的自发辐射)噪声。强度/光电流噪声是指与光束相联系的功率或光电流的波动, 常见的强度噪声类型有: ①散粒噪声; ②信号与自发辐射差拍噪声; ③自发辐射与自发辐射差拍噪声等。

1) 掺铒光纤放大器(EDFA)

掺铒光纤放大器是将稀土元素铒(Er)离子注入到光纤芯层中, 形成一种特殊光纤, 在泵浦源作用下可直接对某一波段的光信号进行放大。

(1) EDFA 的组成结构

EDFA 的基本组成包括: 泵浦激光、耦合器、光隔离器和掺铒光纤(EDF), 耦合器能有效地将信号光和泵浦光耦合进或出掺铒光纤, 光隔离器将反射回放大器的光减小到一个可接受的水平。目前, 由于 980nm 和 1480nm 的泵浦效率高于其他波长的泵浦效率, 因此得到了广泛应用。

EDFA 是目前光纤放大器中具有代表性的一种。其常用的结构有三种: 同向泵浦、反向泵浦和双向泵浦。同向泵浦是一种信号光与泵浦光以同一方向从掺铒光纤的输入端注入的结构, 也称为前向泵浦。反向泵浦是一种信号光与泵浦光从两个不同方向注入进掺铒光纤的结构, 也称为后向泵浦。双向泵浦是同向泵浦、反向泵浦相结合的方式。

(2) EDFA 的优点

EDFA 的优点主要体现在:

- ① 转移效率高, 从泵浦源吸收的光功率转移到被放大的光信号上的功率效率高;
- ② 放大的谱宽与目前 WDM 系统的光谱范围一致, 适合 WDM 光纤通信;
- ③ 具有较高的饱和输出光功率;
- ④ 动态范围大;
- ⑤ 噪声指数小;
- ⑥ 与光纤的耦合损耗小;
- ⑦ 增益稳定性好;
- ⑧ 增益时间常数较大。

当然, EDFA 也存在 ASE 噪声、串扰、增益饱和等问题。

2) 受激拉曼光纤放大器(SRA)

图 3.8 所示为 SRA 的原理性结构示意图, 频率为 ω_p 和 ω_{as} 的泵浦光和信号光通过 WDM 合波器输入至光纤, 当这两束光在光纤中一起传输时, 泵浦光的能量通过 SRS 效应转移给信号光, 使信号光得到放大。泵浦光和信号光也可分别在光纤的两端输入, 在反向传输过程中同样能实现弱信号的放大。

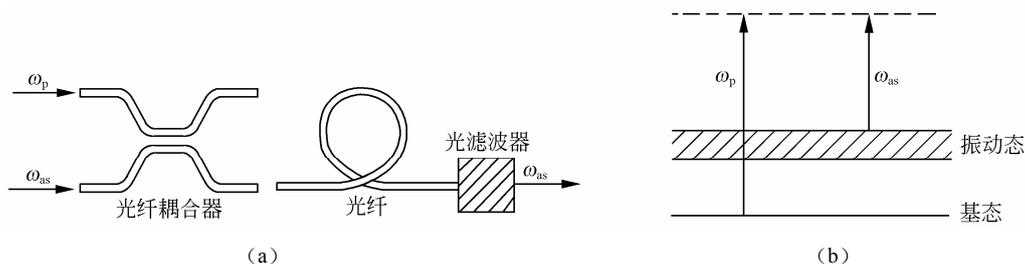


图 3.8 SRA 放大器原理示意图

SRA 最显著的优点是：它能够提供整个波段的光放大。通过适当改变泵浦激光器的光波波长就可以得到在任意波段进行光放大的宽带放大器，甚至可在 1279~1670nm 整个波段内提供放大。

光纤拉曼放大器有两种类型和两种应用：一种称为集中式 SRA，另一种称为分布式 SRA。集中式 SRA 以主要作为高增益、高功率放大；分布式 SRA 以主要作为光纤传输系统中传输光纤损耗的分布式补偿放大，实现光纤通信系统光信号的透明传输。

3) 受激布里渊光纤放大器 (SBA)

SBA 利用强激光与光纤中的弹性声波场相互作用产生的后向散射光来实现对光信号的放大。其主要特点是高增益、低噪声、窄带宽，因而可以形成分布式放大，用作光滤波器。可以应用于：

- (1) 作高增益、低噪声的光前置放大器，提高接收机的灵敏度。
- (2) 多通道的相干光通信，能有选择性地放大光载波，抑制调制产生的边频，这样放大后的光载波可以用作本振光，实现零差检测。
- (3) 多通道光选择器，如 SCM（副载波调制）、WDM 光纤通信系统。

SBA 是一种高增益、低功率输出、窄带宽放大器。实际多信道通信系统中，SBS（受激布里渊散射）过程通常要限制信道间隔和通道数，同时限制信号功率和通信距离，因此应设法降低 SBS 影响。

4) 半导体光放大器 (SOA)

SOA 的基本工作原理如图 3.9 所示，其中激活介质（有源层）吸收了外部泵浦提供的能量，电子获得了能量跃迁到较高的能级，产生粒子数反转。输入光信号会通过受激辐射过程，激活这些电子使其跃起迁到较低的能级，从而产生一个放大的光信号。

SOA 有两种主要结构：法布里-珀罗放大器 (FPA) 和非谐振的行波放大器 (TWA)。

SOA 最重要的优点是它使用 InGaAsP 制造，因此小型、紧凑，可以与其他半导体和元件集成在一起。

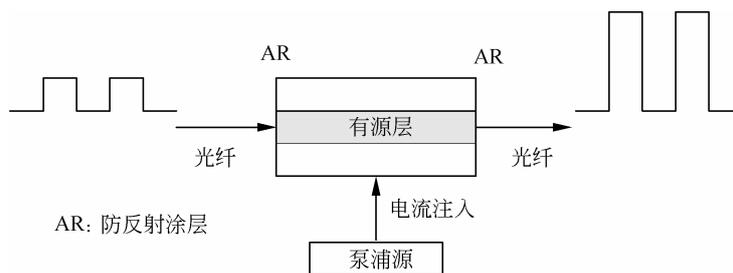


图 3.9 SOA 的基本工作原理示意图

5) 其他光纤放大器

掺镭光纤放大器（PDFA）：EDFA 光纤放大器只能对 1550nm 波段的光信号进行放大，为了能对 1310nm 波段的光信号进行放大，人们在光纤中掺入镭。PDFA 适用于 EDFA 不能放大的光波波段，对现有的光纤线路的升级和扩容有重要的意义。

掺铝（AL）EDFA：为了使 EDFA 本身具有平坦的增益，在纤芯中掺铒的同时掺入铝，迫使铒的放大能级分布改变，加宽可放大的频率。通过对 EDFA 掺铝可以扩大 1550nm 波长区。如果进一步提高铝掺杂浓度，不管是对小信号功率，还是大信号功率都能提高 1540nm 时的增益，因而可减小增益差以达到平坦增益的目的。

宽带碲化物 EDFA：碲化物光纤折射率高，能提供的受激发射截面比氟化物和石英大。在 1600nm 波长时，EDFA 在碲化物中的受激发射面是氟化物和石英的两倍。而且碲化物材料辐射寿命短，不到氟化物光纤和石英光纤的二分之一，它反射的受激发射截面也小，所以，应用掺碲化物光纤制作放大器可实现宽带放大。用这种光纤制作 EDFA，增益特性平坦，可放大的频带特别宽，而且，与石英系光纤相比，频带向长波长一侧移动。

3.2.4 DWDM 传输系统的监控与管理

由于 DWDM 传输系统中传送的是多个波长的信号，因此可以利用其中一个波长的信号专门对系统进行管理，这个信道就是所谓的光监控信道（OSC）。

光监控信道（OSC）应满足以下条件：

- (1) 不应限制光放大器的泵浦波长。
- (2) 不应限制两线路放大器之间的距离。
- (3) 不应限制未来在 1310nm 波长上的业务应用。
- (4) 线路放大器失效时监控信道仍然可用。

(5) OSC 在每个光放大器中继站上，信息都能被正确地接收下来，而且还可附加上新的监控信号。

(6) 双纤单向传输中，若其中一根光纤被切断，监控信息仍然能被线路终端接收到。

1) DWDM 系统的监控方式

- (1) 带外波长监控技术

ITU-T 建议采用一个特定波长作为光监控信道，传送监测管理信息，此波长位于业务信息传输带外时可选 1310nm, 1480nm 及 1510nm，优选 (1510 ± 10) nm。由于它们位于 EDFA 增益带宽之外，所以称之为带外波长监控技术。带外监控信号不能通过 EDFA，必须在 EDFA 前取出，在 EDFA 之后插入。由于带外监控信道的光信号得不到 EDFA 的放大，所以监控信息速率不能太高，一般为 2048kb/s（通常 2048kb/s 系统的接收灵敏度较高，所以即使不经 EDFA 放大也能正常工作）。

对于采用带外信道的 OSC，DWDM 系统的光监控信道一般与主信道完全独立。在发送端，插入本节点产生的波长为 λ (1510nm) 的光监控信号，与主信道的光信号合波输出；在接收端，将接收到的光信号分波，分别输出波长为 λ (1510nm) 的光监控信号和业务信道光信号。

在整个传送过程中，OSC 没有参与放大，但在每一个站点，信号都被终结和再生了。

(2) 带内波长监控技术

带内波长监控技术是选用位于 EDFA 增益带宽内的 (1532 ± 4) nm 波长。由于可利用 EDFA 增益，监控系统的速率可提高至 155Mb/s。虽然 1532nm 波长处于 EDFA 增益的下降区，但由于 155Mb/s 系统的接收灵敏度优于 WDM 主信道系统的接收灵敏度，故监控消息仍能正常传输。

3.3 波长分配与通道间隔

光纤在 1310nm 和 1550nm 两个低损耗窗口中均可进行波分复用，但是由于目前的光放大器 EDFA 的工作波长范围为 1530~1565nm，因此目前波分复用的波长范围为 1530~1565nm。对这个有限的波长范围区域进行通路分配时，既要考虑带宽利用率，又要考虑非线性及串扰的影响。

1. 绝对频率参考点

绝对频率参考点是为维持光信号频率的精度和稳定度而规范的特定频率。ITU-T 建议的 G.692 文件，在考虑了各国的频率标准和国际度量衡委员会 (CIPM) 的相关建议的基础上，确定 WDM 系统的绝对频率参考点为 193.1THz，与之相对应的光波长为 1552.52nm。

2. 通路间隔

通路间隔指的是相邻通路之间的标称频率差，该频率差既可以是均匀的，也可以是非均匀的。ITU-T 目前规定的各个信道的频率间隔必须为 50GHz (0.4nm)，100GHz (0.8nm) 或其整数倍。目前广泛使用的是基于 193.1THz、各个通路频率最小间隔为 100GHz 的频率间隔系列。

3. 标称中心频率（标称中心波长）

标称中心频率指的是光波分系统中每个通路对应的中心波长对应的频率点。目前国际上规定的通路频率是基于参考频率为 193.1THz、最小间隔为 100GHz 的频率间隔系列。即

用绝对参考频率加上（或减去）规定的通路间隔就是各复用光通路的具体标称中心频率。标称中心波长是在规定标称中心频率基础上根据公式 $f\lambda=c$ 计算得到的。

4. 中心频率偏差

中心频率偏差定义为标准中心频率与实际中心频率之差。对于 DWDM 系统来说，由于信道间隔比较小，所以一个极小的信道偏移，就有可能造成极大的影响。因此，ITU-T 建议对信道的中心频率偏移做了规定，一般要求偏移量正负数值小于信道的 10%。

WDM 信道的标准波长分等间隔和不等间隔两种配置方案，不等间隔是为了避免四波混频效应的影响。一般将 1525~1540nm 范围称作蓝带区，将 1540~1565nm 范围称作红带区，一般说来，当传输的容量小于 40Gb/s 时，优先使用红带区。表 3.1 给出了 16 波长和 32 波长 DWDM 系统的中心波长和频率。

表 3-1 16 波长和 32 波长 DWDM 系统中心波长（频率）

序号	频率 (THz)	波长 (nm)	序号	频率 (THz)	波长 (nm)
1	192.1	1560.61	17	193.7	1547.72
2	192.2	1559.79	18	193.8	1546.92
3	192.3	1558.98	19	193.9	1546.12
4	192.4	1558.17	20	194.0	1545.32
5	192.5	1557.36	21	194.1	1544.53
6	192.6	1556.55	22	194.2	1543.73
7	192.7	1555.75	23	194.3	1542.94
8	192.8	1554.94	24	194.4	1542.14
9	192.9	1554.13	25	194.5	1541.35
10	193.0	1553.33	26	194.6	1540.56
11	193.1	1552.52	27	194.7	1539.77
12	193.2	1551.72	28	194.8	1538.98
13	193.3	1550.92	29	194.9	1538.19
14	193.4	1550.12	30	195.0	1537.40
15	193.5	1549.32	31	195.1	1536.61
16	193.6	1548.51	32	195.2	1535.82

3.4 DWDM 系统的节点功能

DWDM 系统的节点技术主要是指光交叉连接（OXC）节点、光分插复用（OADM）节点的网元设备技术。

1. 光交叉连接（OXC）

OXC 节点的功能类似于 SDH 网络中的数字交叉连接（DXC）设备，只不过是以光波信号为操作对象在光域上实现的，无须进行光电/电光转换和电信号处理。OXC 节点是光传送网的关键节点。

OXC 主要包括以下的功能。

(1) 路由和交叉连接功能：将来自不同链路的同波长或不同波长的信号进行交叉连接，在此基础上可以实现波长指配、波长交换和网络重构。

(2) 连接和带宽管理功能：响应各种形式的带宽请求，寻找合适的波长通道，为到来的业务量建立连接。

(3) 指配功能：完成波长指配和端口指配。

(4) 上下路功能：在节点处完成波长上下路，实现本地节点与外界的信息交互。

(5) 保护和恢复功能：提供对链路和节点失效的保护和恢复能力。

(6) 波长变换功能：要实现虚波长通道必须利用 OXC 的波长转换功能。

(7) 波长汇聚功能：指在光交叉节点上将不同速率或者相同速率的、去往相同方向的低速波长信号进行汇聚，形成一个更高速率的波长信号在网络中进一步传输。

(8) 组播、广播功能：将任意输入端口来的波长广播到其他所有的输出链路或波长信道上，或发送到任意一组输出端口上去。

(9) 管理功能：光交叉连接节点必须具有较完善的性能管理、故障管理、配置管理等功能，具有对进、出节点的每个波长进行监控的功能等。

OXC 主要由光交叉连接矩阵、波长转换接口以及管理控制单元等模块组成。OXC 有多种结构，典型的有基于空间交换的 OXC 结构和基于波长变换的 OXC 结构两种。

2. 光分插复用 (OADM)

OADM 节点的功能类似于 SDH 网络中的分插复用 (ADM) 设备，它可以直接以光波信号为操作对象，利用光波分复用技术在光域上实现波长信道的上下。

OADM 的主要功能包括：

(1) 波长上下；

(2) 业务保护；

(3) 波长转换；

(4) 管理功能。

光分插复用 (OADM) 设备和光交叉连接 (OXC) 设备是光传送网主要的节点设备。其中 OXC 是最典型的光传送网的网元设备，是构成骨干光传送网的必需设备；而 OADM 可以认为是 OXC 在功能和结构上的简化。

3.5 IP Over DWDM

目前对 IP 进行传送的技术主要有 IP over ATM，IP over SDH 和 IP over DWDM。

IP over DWDM 也称为光因特网。是指在 DWDM 传输平台上直接承载 IP 的技术。DWDM 的使用将最终省掉中间的 ATM 层和 SDH 层，IP 将直接在光路上传输处理，实现 IP over DWDM 的全光网络。

IP over DWDM 的基本原理和工作方式是：在发送端，将不同波长的光信号组合（即复用）送入一根光纤中传输，在接收端，又将组合光信号分开（即解复用）并送入不同终端。

IP 是网络层技术，而 DWDM 是物理层技术，ITU-T 和 OIF 研究了如何使 IP 层和 DWDM 层实现有效的层间适配，IP 数据以何种方式成帧并通过 WDM 传输。在光纤上直接传输 IP 数据包需要选择帧格式，目前主要使用的两种帧格式是 SDH 帧格式和吉比特以太网帧格式，如图 3.10 所示。



图 3.10 IP over DWDM 协议模型

相应的网络解决方案为 IP/SDH/WDM 和 IP/Ethernet/WDM 协议结构。

IP over DWDM 技术让数据包直接在光路上传送，减少了网络层之间的冗余部分，额外的开销低，减少了功能重叠，其传输效率高，节省了网络运行成本，同时也降低了用户的费用，是一种最直接、最经济的 IP 网络结构体系，适用于大型 IP 骨干网。

3.6 DWDM 光网络的组成结构

按照承载的业务类型，WDM 网络可分为静态业务网络和动态业务网络；按照波长变换类型，WDM 网络可分为无波长变换和有波长变换网络；按照数据流在信源到信宿的传输过程中有无光电转换过程，可分为单跳网络和多跳网络；按照物理连接，可分为环型网、网状网、星型网和总线型网。

从光网络选路方式上划分有两种典型的网络结构：广播选择网和波长选路网。

1) 广播选择网络

以广播形式发送，接收端有选择地滤波接收。这种网络主要用于高速局域网或广域网。

广播选择网可以分为单跳和多跳两种网络。单跳网是指网络中的信息以光的形式传输到目的地，信源与信宿间无须在中间节点进行光电转换；而在多跳网络中，信号可在中间节点进行再生及波长变换，信号必须经多个节点的中继后才能到达信宿节点。

(1) 广播选择单跳网

广播选择单跳网可有星型和总线型结构，如图 3.11 所示。星型结构如图 3.11 (a) 所示，图中的 N 组收发器和一个星型耦合器相连。总线型结构如图 3.11 (b) 所示，图中 N 组收发器通过一个无源总线相连，每个发送器采用一个固定的波长发送信息，经耦合器或总线汇集，然后分流到达各个节点接收端。接收端的每个节点用可调谐接收器选择滤波出寻址到自身的那个波长，此时的接收器需要把接收波长调谐到所要接收信息的发送波长上，这就要用到某种介质访问控制协议（MAC 协议）。

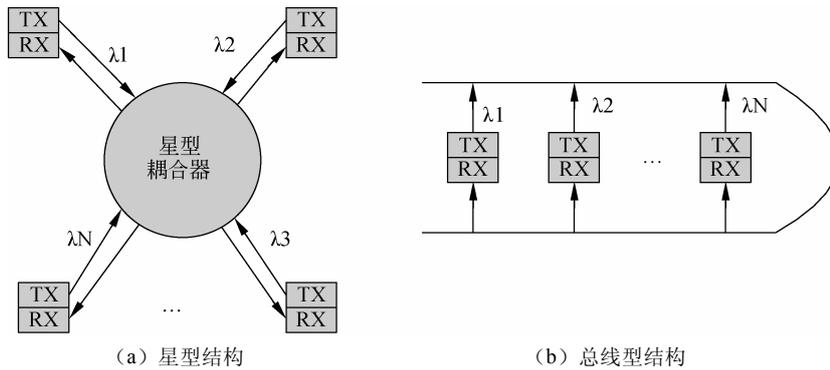


图 3.11 广播选择单跳网结构图

这种网络的好处就是对协议的透明性，由于星型耦合器和光纤链路都是无源的，所以这种网络很可靠，而且易于控制。但这种方式比较浪费光功率，因为每一个要传输的光信号能量几乎都被平分到网络中的所有节点上了。另外每个节点都需要一个不同的波长，使节点数目受到限制，并且各节点之间需要仔细协调不同的动态过程，当两个站向一个站发送信息时，要避免信息流碰撞。

(2) 广播选择多跳网

广播选择多跳网每个节点配备几个固定波长的收发模块，发往其他站点的信息需要经过中间站路由转发，中间站信号经历“光—电—光”转换。如图 3.12 所示，每个节点有两个固定波长的发送和两个固定波长的接收。如果节点 1 要向节点 2 发送消息，首先采用波长 λ_1 将消息发送出去，只有节点 3 可以调谐 λ_1 信号并接收，然后节点 3 用 λ_6 将消息传递给节点 2。这种方式的好处是不会出现目的地冲突或是分组碰撞，因为每个波长信道针对特殊的源、目的地。但是当节点通信需要经过 H 跳时，网络容量开销至少为 $1/H$ 。

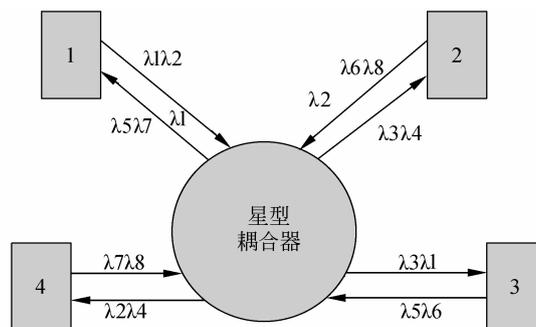


图 3.12 广播选择多跳网

2) 波长选路网

波长选路网是光波长路由器通过成对的点到点链路连接成的任意的栅格结构，每个栅

格都承载一定数量的波长，在节点中，可以相互独立地将各个波长传送到不同的输出端口。每个节点都有和其他节点相连的逻辑连接，而各个逻辑连接使用一个特定波长。任何没有公共路径的逻辑连接都可以使用相同的波长。这样就可以减少总的使用波长数。

3) 波长通道网络和虚波长通道网络

根据 OXC 能否提供波长变换功能，光通道可以分为波长通道 (WP) 和虚波长通道 (VWP)。

在光通道层传输的信号，在所有的波长复用段中都使用相同的波长，并保持不变，这种通道就是波长通道 (WP)。建立这种通道必须找到一组链路，在这些链路上均使用一个共同的波长，且这个波长应该是空闲的。

虚波长通道 (VWP) 是利用了 OXC 的波长变换功能，在不同的波长复用段可以使用不同波长的光通道，从而提高了波长的利用率，减少了全网所需的波长数，降低了阻塞概率。建立虚波长通道时只需找到一条路径，其中每条链路的波长复用段都有空闲的波长可用。

3.7 光传送网

1998年，ITU-T 提出了光传送网 (Optical Transport Network, OTN) 概念。OTN 是一种以波分复用与光信道技术为核心的新型通信网络传送体系，它由光分插复用、光交叉连接、光放大等网元设备组成。

OTN 是在光层组织网络的传送网，是下一代骨干传送网。OTN 是通过 G.872、G.709、G.798 等一系列 ITU-T 的建议所规范的新一代“数字传送体系”和“光传送体系”。

按照 ITU-T G.872 建议，光传送网中加入光层，光层从上至下分为三层：光通道 (OCH) 层、光复用段 (OMS) 层和光传输段 (OTS) 层。每个层网络又可以进一步分割成子网和子网连接，以反映该层网络的内部结构。OTN 分层模型见图 3.13。



图 3.13 OTN 分层模型

1. 光传输段层

光传输段层 (OTS) 负责为光信号在不同类型的光介质上提供传输功能，同时实现对光放大器或中继器的检测和控制功能等。光传输段开销处理用来确保光传输段适配信息的完整性，整个光传送网由最下面的物理介质层所支持。

2. 光复用段层

光复用段层 (OMS) 负责保证相邻两个波长复用传输设备间多波长复用光信号的完整传输，为多波长信号提供网络功能，包括：为灵活的多波长网络选路重新安排光复用段功能；为保证多波长光复用段适配信息的完整性处理光复用段开销；为网络的运行和维护提

供光复用段的检测和管理功能。波长复用器和交叉连接器工作在光复用段层。

3. 光通道层

光通道层（OCH）负责为各种不同格式或类型的客户信息选择路由、分配波长和安排光通道连接，处理光通道开销，提供光通道层的检测、管理功能。并在故障发生时，通过重新选路或直接把工作业务切换到预定的保护路由来实现保护倒换和网络恢复。端到端的光通道连接由光通道层负责完成。

4. 客户层

客户层不是光网络的组成部分，但 OTN 光层作为能够支持多种业务格式的服务平台，能支持多种客户层网络，包括 IP、以太网、ATM 及 SONET/SDH 等。

简而言之，光传送网的 OCH 层为各种数字客户信号提供接口，为透明地传送这些客户信号提供点到点的以光通道为基础的组网功能。OMS 层为经波分复用的多波长信号提供组网功能。OTS 层经光接口与传输介质相连接，提供在光介质上传输光信号的功能。光传送网的这些相邻层之间形成所谓的客户服务者关系，每一层网络为相邻上一层网络提供传送服务，同时又使用相邻的下一层网络所提供的传送服务。

传统的 WDM 技术一般局限于光纤线路传输技术，且基于点到点结构。随着光交换技术、光交叉连接技术的发展，光节点技术（即光分插复用器（OADM）、光交叉连接器以及光分组技术）的突破，DWDM 传输技术也已经历了几个发展阶段，基于 DWDM+智能光节点技术的 OTN 最具发展前景。

【考试要求】

根据全国通信专业技术人员职业水平考试通信专业实务（中级）——传输与接入专业考试大纲的要求，涉及本章节内容的考点主要包括以下几部分：

1. 了解：WDM、OTN 的要点。
2. 熟悉：SDH、OTN 的网元功能。
3. 掌握：WDM（DWDM/CWDM）光传输系统的技术特点。

【考试要点】

在复习本章节的过程中，我们需要重点关注以下内容：

WDM 的概念；WDM、DWDM、CWDM 的区别；从不同的角度划分 DWDM 系统；DWDM 系统的组成模块；DWDM 系统的波长分配与通道间隔；DWDM 系统的节点功能；EDFA 的工作原理；DWDM 光网络的选路方式；光传送网的分层结构以及各层次的功能。

【习题集精粹及答案】**一、单选题**

1. WDM 系统可以工作于双纤单向传输和 ()。
- A. 双纤双向传输
 - B. 单纤双向传输
 - C. 单纤单向传输
 - D. 双纤多向传输

参考答案: B

分析: 对于 DWDM 系统, 从不同的角度可以划分为不同的类型。从 DWDM 的工作方式 (或传输方向) 分, 可分为双纤单向传输方式和单纤双向传输方式; 从 DWDM 的接口方式分, 可分为集成式 WDM 传输系统和开放式 WDM 传输系统。

2. 在光纤通信中, OTU 是 ()。
- A. 合波器
 - B. 分波器
 - C. 光波长转换器
 - D. 激光器

参考答案: C

分析: 开放式系统在波分复用器前加入了光波长转换器 (OTU); 将 SDH 光接口 (即 ITU-T G.957) 转换成符合 ITU-T G.692 规定的接口标准。

3. 光波长转换器 (OTU) 的作用是实现符合 G.957 的光接口与符合 () 的光接口之间的转换。
- A. G.703
 - B. G.692
 - C. G.652
 - D. G.655

参考答案: B

分析: 光波长转换器 (OTU) 将 SDH 光接口 (即 ITU-T G.957) 转换成符合 ITU-T G.692 规定的接口标准。

4. ITU-T 建议采用带外监控时 OSC 波长优选 ()。
- A. 1310nm
 - B. 1510nm
 - C. 1480nm
 - D. 1550nm

参考答案：B

分析：ITU-T 建议采用一个特定波长作为光监控信道，传送监测管理信息，此波长位于业务信息传输带外时可选 1310nm，1480nm 及 1510nm，优选 1510nm±10nm。由于它们位于 EDFA 增益带宽之外，所以称之为带外波长监控技术。

5. ITU-T G.692 建议 DWDM 系统的频率间隔为（ ）的整数倍。

- A. 155MHz
- B. 100GHz
- C. 10THz
- D. 200GHz

参考答案：B

分析：ITU-T 目前规定的各个信道的频率间隔必须为 50GHz(0.4nm)，100GHz(0.8nm) 或其整数倍。

6. 对于 DWDM 系统，一般认为工作波长在（ ）nm 附近。

- A. 980
- B. 1310
- C. 1550
- D. 1650

参考答案：C

分析：随着 1550nm 窗口掺铒光纤放大器的商用化，人们不再利用 1310nm 窗口而采用 1550nm 窗口传送多路光载波信号。相对于原来的 2 波长 WDM 系统，1550nm 窗口波长间隔更加紧密，只有 0.8~2nm，甚至小于 0.8nm，人们称这种波分复用系统为密集波分复用系统 (DWDM)。

7. ITU-T G.692 建议 DWDM 系统参考频率为（ ）THz。

- A. 193.1
- B. 192.1
- C. 196.1
- D. 1550

参考答案：A

分析：ITU-T 建议的 G.692 文件，在考虑了各国的频率标准和国际度量衡委员会 (CIPM) 的相关建议的基础上，确定 WDM 系统的绝对频率参考点为 193.1THz，与之相对应的光波长为 1552.52nm。

8. 没有定时再生电路的 OTU 完成（ ）功能。

- A. 波长转换
- B. 定时再生
- C. 抽样

D. 码型变换

参考答案: A

分析: OTU 还可以根据需要增加定时再生的功能。没有定时再生电路的 OTU 实际上只是完成波长转换, 适用于传输距离较短的系统。

9. 完成为光信号在不同类型的光媒质上提供传输功能, 同时实现对光放大器或中继器的检测和控制等功能是 () 层。

- A. 客户层
- B. 光传输段层
- C. 光复用段层
- D. 光通道层

参考答案: B

分析: 光传输段层 (OTS) 负责为光信号在不同类型的光介质上提供传输功能, 同时实现对光放大器或中继器的检测和控制功能等。光传输段开销处理用来确保光传输段适配信息的完整性, 整个光传送网由最下面的物理介质层提供支持。

二、多选题

1. 光监控信道应满足以下条件: ()。

- A. 不应限制光放大器的泵浦波长
- B. 不应限制两线路放大器之间的距离
- C. 不宜限制未来在 1310nm 波长上的业务应用
- D. 线路放大器失效时监控信道仍然可用

参考答案: ABCD

分析: 光监控信道 (OSC) 应满足以下条件:

- (1) 不应限制光放大器的泵浦波长;
- (2) 不应限制两线路放大器之间的距离;
- (3) 不应限制未来在 1310nm 波长上的业务应用;
- (4) 线路放大器失效时监控信道仍然可用;
- (5) OSC 在每个光放大器中继站上, 信息都能被正确地接收下来, 而且还可附加上新的监控信号;
- (6) 双纤单向传输中, 若其中一根光纤被切断后, 监控信息仍然能被线路终端接收到。

2. 以下关于 CWDM 与 DWDM 的比较, 正确的有 ()。

- A. CWDM 载波通道间距较宽, 复用波长数目较 DWDM 少
- B. DWDM 采用的是冷却激光, 而 CWDM 调制激光采用非冷却激光
- C. CWDM 对光纤媒质没有特殊要求, 应用范围较广, 但传输距离一般限于城域网范围, 干线部分 DWDM 仍然有着无法替代的优势
- D. 城域网范围内, DWDM 的建设和维护成本较 CWDM 低得多

参考答案：ABC

分析：CWDM 与 DWDM 相比，区别主要体现在以下几个方面。

(1) CWDM 载波通道间距较宽，一根光纤上只能复用 2~16 个波长的光波，复用波长数目较 DWDM 少。

(2) DWDM 采用的是冷却激光，而 CWDM 调制激光采用非冷却激光，成本要低得多。

(3) CWDM 对光纤介质没有特殊要求，应用范围较广，但传输距离一般限于城域网范围；干线部分 DWDM 仍然有着无法替代的优势。

(4) CWDM 比 DWDM 具有更大的成本优势。

DWDM 无疑是当今光纤应用领域的首选技术，但其价格比较昂贵。CWDM 体现了 DWDM 的很多优点，同时成本在可接受的范围内，所以它成为不少大城市的城域接入、中小城市的城域骨干网以及企业校园网等应用环境的低成本解决方案。

3. 按照 IRJ-T 的建议，OTN 被分解为若干独立的层网络，每个层网络又可以进一步分割成子网和子网连接，以反映该层网络的内部结构。OTN 将光层分为（ ）等。

- A. 光通道层
- B. 光复用段层
- C. 光传输段层
- D. 电路层

参考答案：ABC

分析：按照 ITU-T G.872 建议，光传送网中加入光层，光层从上至下分为三层：光通道（OCH）层、光复用段（OMS）层和光传输段（OTS）层。

4. DWDM 系统根据光接口的兼容性可以分成（ ）等系统结构。

- A. 集成式
- B. 紧凑型
- C. 开放式
- D. 室内型

参考答案：AC

分析：DWDM 系统根据光接口的兼容性可以分成开放式和集成式两种系统结构。集成式系统要求接入光接口满足 DWDM 光接口标准（即 ITU-T G.692 波长标准）；开放式系统在波分复用器前加入了光波长转换器（OTU）；将 SDH 光接口（即 ITU-T G.957）转换成符合 ITU-T G.692 规定的接口标准。

5. 掺饵光纤放大器主要由（ ）等部件组成。

- A. 掺饵光纤
- B. 泵浦激光源
- C. 耦合器
- D. 光隔离器

参考答案: ABCD

分析: EDFA 的基本组成包括泵浦激光、耦合器、光隔离器和掺铒光纤 (EDF), 耦合器能有效地将信号光和泵浦光耦合进或出掺铒光纤, 光隔离器将反射回放大器的光减小到一个可接受的水平。

6. EDFA 的基本结构形式有 ()。

- A. 同向泵浦
- B. 反向泵浦
- C. 双向泵浦
- D. 双波长泵浦

参考答案: ABC

分析: 常用的结构有: 同向泵浦、反向泵浦和双向泵浦。

7. 目前对 IP 进行传送的技术主要 ()。

- A. IP over ATM
- B. IP over SDH
- C. IP over DWDM
- C. IP over FR

参考答案: ABC

分析: 目前对 IP 进行传送的技术主要有 IP over ATM, IP over SDH 和 IP over DWDM。

8. 为了延长传输距离, 可以考虑的方法有 ()。

- A. 增加合适的光放大器
- B. 采用低损耗光纤
- C. 降低放大器的噪声
- D. 在适当位置加中继器

参考答案: ABCD

分析: 放大器用来提升光信号, 不需要转换光信号到电信号, 补偿由于通过长距离传播而导致的功耗或衰减。在小于 65km 的链路上通常并不需要光放大器。

在光放大器研制成功之前, 主要采用光电混合中继器 (或称再生器) 放大光信号。

9. ITU-T G.872 将光层分为以下子层 ()。

- A. 光接口层
- B. 光传输段层
- C. 光复用段层
- D. 光通道层

参考答案: BCD

三、判断题

1. 按各信道间的波长间隔的不同, WDM 可分为密集波分复用和稀疏波分复用。

参考答案：对

分析：WDM 系统按照工作波长的波段不同可以分为两类：一类是在整个长波长波段内信道间隔较大的波分复用，称为粗波分复用（CWDM）；另一类是在 1550nm 波段的密集波分复用（DWDM）。

2. 在一根光纤中实现两个方向光信号的同时传输，两个方向的光信号应安排在相同波长上。

参考答案：错

分析：单纤双向传输系统是在一根光纤中实现两个方向光信号的同时传输，两个方向的光信号应安排在不同波长上。

3. 没有定时再生电路的光波长转换器实际上是由一个光/电转换器和一个高性能的电/光转换器构成。

参考答案：对

分析：如图 3.7 所示。

4. 从光网络选路方式上划分有两种典型的网络结构，广播选择网和波长选路网。

参考答案：对

5. 光放大器是一种需要经过光/电和电/光的变换对光信号进行放大的有源器件。

参考答案：错

分析：在光放大器研制成功之前，主要采用光电混合中继器（或称再生器）放大光信号。再生器首先将光纤中送来的光信号转换为电信号，然后对电信号进行处理，最后将电信号转换为光信号送到光纤中去。补偿光纤损耗的最有效方法是用光放大器直接对光信号进行放大，提高光信号功率，而无须转换成电信号。

6. EDFA 泵浦光源波长为 1550nm。

参考答案：错

分析：EDFA 的基本组成包括泵浦激光、耦合器、光隔离器和掺铒光纤（EDF），耦合器能有效地将信号光和泵浦光耦合进或出掺铒光纤，光隔离器将反射回放大器的光减小到一个可接受的水平。目前，由于 980nm 和 1480nm 光波的泵浦效率高于其他波长的泵浦效率，因此得到广泛应用。

7. 光传输段层负责保证相邻两个波长复用传输设备间多波长复用光信号的完整传输，为多波长信号提供网络功能。

参考答案：错

分析：光复用段层负责保证相邻两个波长复用传输设备间多波长复用光信号的完整传输，为多波长信号提供网络功能。

8. 光复用段层负责为各种不同格式或类型的客户信息选择路由、分配波长和安排光通道连接，处理光通道开销，提供光通道层的检测、管理功能。

参考答案：错

分析：光通道层负责为各种不同格式或类型的客户信息选择路由、分配波长和安排光通道连接，处理光通道开销，提供光通道层的检测、管理。

【练习题】

一、填空题

- DWDM 系统是指波长间隔相对较小，波长复用相对密集，各信道共用光纤的一个_____窗口，在传输过程中共享光纤放大器的高容量 WDM 系统。
- DWDM 系统的工作方式主要有_____和_____。
- DWDM 光网络从选路方式上划分有两种典型的结构_____。
- DWDM 有_____基本构件。
- ITU-T 建议的 40 波 DWDM 设备，相邻波长之间的频率间隔为_____GHz，其中第一波的中心频率为_____THz。
- 使用波长密度较高的 WDM 称为_____，使用波长密度较低的 WDM 称为_____。
- DWDM 通常有两种应用形式：_____和_____。
- 常用的光合波/分波器件有_____、_____、_____、_____等多种类型。
- 从光网络选路方式上划分网络有两种典型的结构_____和_____。
- WDM 是_____的简称，是指在一根光纤中同时传送_____的一项技术。
- DWDM 的技术特点是：_____、_____、_____、_____。
- 当 16 波/32 波/40 波时，DWDM 系统 λ_1 的中心波长是_____。
- 当 16 波/32 波/40 波时，DWDM 系统 λ_1 的中心频率是_____。
- 掺饵光纤放大器（EDFA）能够对_____波长窗口的光信号进行放大，通常采用_____和_____波长的泵浦光进行泵浦。

二、单选题

- 在一个波分复用系统中，不会出现的波道数是下列哪一个？（ ）。
A. 2 B. 4 C. 7 D. 32
- 在下列选项中不是波分复用系统特点的是：（ ）。
A. 充分利用光纤带宽
B. 节约光纤，降低成本
C. 实现多速率，多业务混合传输
D. 采用同步复用方式和灵活的复用映射
- WDM 是采用（ ）方式来扩大系统传输容量的。
A. 时分复用 B. 空分复用 C. 波分复用 D. 码分复用

4. 当 16 波/32 波/40 波时, DWDM 系统中 λ_1 的中心波长为 () nm, 中心频率为 192.1THz。
- A. 1557.36 B. 1556.55 C. 1560.61 D. 1554.94
5. 哪种情况可能导致光监控信号无法从上游站点向下游传递? ()。
- A. 光放大盘失效
B. 两业务站点间跨距太大
C. 光缆中断
D. 都可能
6. 下面单盘属于无源盘的是: ()。
- A. 光监控信道 (OSC) 盘 B. 分波 (ODU) 盘
C. 光功放 (OBA) 盘 D. 网元管理 (EMU) 盘
7. 在波分复用系统中, 接口符合 G.691/G.957 标准的是下列哪一种系统? ()。
- A. 集成式系统 B. 开放式系统
C. 海底系统 D. 陆地干线系统
8. 下列保护方式中, WDM 系统不能采用的保护倒换方式是 ()。
- A. 光线路 1+1 和 1:1 保护
B. 光通道 1+1 和 1:1 保护
C. WDM 环路中的 SDH 二纤或四纤自愈环保护
D. 两纤复用段保护
9. 对于 OTN 系统 G.709 描述正确的是 ()。
- A. 光传送网的接口标准 B. 光传送网络的物理接口标准
C. 局内系统的光接口标准 D. 光传送网络的架构标准
10. 在波分和 OTN 系统的工作频率中, 中心频率是下列哪一个? ()。
- A. 193.1THz B. 192.1THz
C. 196.0THz D. 187.0THz
11. 在波分和 OTN 系统的工作频率中, 中心波长是下列哪一个? ()。
- A. 1552.52nm B. 1310nm C. 1550nm D. 1510nm
12. ITU-T 为统一各设备制造厂家的光传送网接口标准, 制定了下面哪一种协议? ()。
- A. G.709 B. G.798 C. G.872 D. G.874
13. EDFA 属于以下哪一类设备? ()。
- A. OM B. OA C. OD D. OUT
14. DWDM 使用的光接口规范为 ()。
- A. G.692 B. G.691 C. G.957 D. G.652

三、多选题

1. WDM 的系统组成, 包括 ()。
A. OUT B. OMU C. OSC D. OPU
2. EDFA 的基本结构与改进形式有 ()。
A. 同向泵浦 B. 反向泵浦
C. 双向泵浦 D. 反射型泵浦
3. EDFA 放大器中常用的泵浦光源的波长为: ()。
A. 980nm B. 1480nm
C. 1510nm D. 1550nm

四、判断题

1. DWDM 和 CWDM 的区别在于复用波长的频率间隔不同。
2. DWDM 系统的工作波长较为密集, 一般波长间隔为零点几个纳米到几个纳米。
3. 单纤双向传输不允许单根光纤携带全双工通路。
4. 一根光纤只完成一个方向光信号的传输, 反向光信号的传输由另一根光纤来完成, 因此同一波长在两个方向上不可以重复利用。
5. 发生拉曼散射的结果将导致 WDM 系统中短波长通路产生过大的信号衰减, 从而限制通路数。

五、简答题

1. 简述 DWDM 的工作方式。
2. 简述 EDFA 的应用方式。
3. 简述 OSC 带外监控信号如何与主信道隔离。
4. 简述 OTN 的分层结构。
5. WDM、DWDM 和 CWDM 的关系是什么?
6. 阐述 DWDM 的系统结构及其特点。
7. 光纤放大器的分类和主要特性。
8. IP over SDH 的基本原理是什么?
9. IP over WDM 的基本原理是什么?
10. 什么是光的波分复用 (WDM) 技术?
11. 什么是 DWDM 技术?
12. 光中继器和光放大器的主要区别是什么?

【练习题参考答案】

一、填空题

1. 低损耗
2. 双纤单向传输 单纤双向传输

3. 广播选择网和波长选路网
4. 合波器 分波器 光放 光转发单元 光监控信道
5. 100 192.1
6. DWDM CWDM
7. 开放式 DWDM 系统 集成式 DWDM 系统
8. 光栅型, 多层介质薄膜型 锥光纤维型 集成光波导型
9. 广播选路网 波长选路网
10. 波分复用 多个不同波长的
11. 大容量 低成本 透明传输 波长路由
12. 1560.61nm
13. 192.1THZ
14. 1550 980 1480

二、单选题

1. C 2. D 3. C 4. C 5. B 6. B 7. B 8. D 9. A 10. A 11. A 12. A
13. B 14. A

三、多选题

1. ABC 2. ABCD 3. AB

四、判断题

1. 对 2. 对 3. 错 4. 错 5. 对

五、简答题

1. 答: DWDM 的工作方式包括双纤单向传输方式和单纤双向传输方式。双纤单向传输是在一根光纤只完成一个方向光信号的传输, 反向光信号的传输由另一根光纤来完成。这种方式同一波长或波长组在两个方向上可以重复利用。单纤双向传输是在一根光纤中实现两个方向光信号的同时传输, 两个方向的光信号应安排在不同波长上。

2. 答: EDFA 有 4 种应用方式: 在线放大器是用在线放大器代替光电光混合中继器。后置放大器是将光放大器接在光发送机后以提高光发送机的发送功率, 增加传输距离。前置放大器是将光放大器接在光接收机前, 以提高接收功率和信噪比, 增加通信距离。功率补偿放大器是将光放大器用于补偿局域网中的分配损耗, 以增大网络节点数。

3. 答: ①在 WDM 终端站的过程: 发方向, OSC 在合波、放大后才接入监控信道; 收方向, OSC 首先被分离, 之后系统才对主信道进行预放和分波。②在 OLA 站过程: 收方向, 最先分离出 OSC; 发方向, 最后才接入监控信道。整个传送过程中, OSC 没有参与放大, 但在每一个站点, 都被终结和再生了。

4. 答: 按照 ITU-T G.872 建议, 光传送网中加入光层, 光层从上至下分为三层: 光通道 (OCH) 层、光复用段 (OMS) 层和光传输段 (OTS) 层。每个层网络又可以进一步分割成子网和子网连接, 以反映该层网络的内部结构。

5. 答: WDM 是波分复用, 分为 DWDM 和 CWDM。DWDM 是密集波分复用, 波段

间隔密集 (0.4nm 或 0.8nm), 波道数量多, 技术要求高, 主要使用在干线上, 本地网和城域网也大量使用。单波道传输速率高, 系统容量大。CWDM 是粗波分复用, 波道间隔宽 (20nm), 波道数量少 (稀疏波分复用系统一般工作在 1260~1620nm 波段, 间隔为 20nm, 可复用 16 个信道, 其中 1400nm 波段由于损耗较大, 一般不用), 技术要求低, 主要使用在城域网的接入网中。CWDM 调制激光采用非冷却激光, 而 DWDM 采用冷却激光, 整个 CWDM 系统成本只有 DWDM 的 30%。

6. 答: DWDM 可以分为开放式和集成式两种系统结构, 开放式 WDM 系统的特点是对复用终端光接口没有特别的要求, 只要这些接口符合 ITU-T G.957 建议的光接口标准, WDM 系统就采用波长转换技术 (Transpond), 将复用终端的光信号转换成指定的波长, 而集成式 WDM 系统没有采用波长转换技术, 要求复用终端的光信号的波长符合系统的规范。

7. 答: 光纤放大器有两类。一类是利用在光纤纤芯掺入稀土元素 (如铒、镨等) 构成的放大器, 如掺铒光纤放大器 (EDFA)、掺镨光纤 (PDFA) 放大器等; 另一类是利用光纤中的非线性效应所构成的放大器, 如受激布里渊散射放大器 (SBA)、受激拉曼散射放大器 (SRA)。

光放大器的主要特性有: 增益、增益效率、增益波动、增益带宽、增益饱和以及噪声。

(1) 增益是输出光功率与输入光功率的比值 (以 dB 为单位)。

(2) 增益效率是增益相对于输入光功率的函数。

(3) 增益带宽是放大器放大信号的有效频率范围。

(4) 增益饱和, 增益饱和时增益随信号功率增加而减小。

(5) 增益波动是增益带宽内的增益变化范围 (以 dB 为单位)。

(6) 与放大光信号有关的噪声包括两个方面: 光场噪声和强度/光电流噪声。

8. 答: IP over SDH 的基本原理: 在数据链路层使用 PPP 协议将 IP 分组简单地插入到 PPP/HDLC 帧中的信息字段, 然后再由 SDH 通道层的业务适配器把 PPP 帧映射到 SDH 的同步净负荷中, 最后经过 SDH 的传输层和段层, 加上相应的管理开销, 封装成一个 SDH 帧, 到达光层经光纤传输。与 IP over ATM 相比, IP over SDH 完全保留了 IP 无连接的特征, 可以很好地兼容现有的基于 IP 的网络。

9. 答: IP over WDM 的基本原理: 光纤直接与光耦合器相连, 耦合器把各波长分开或组合, 输入和输出端都用简单的光纤连接器。在发送端, 将不同波长的光信号组合 (复用) 送入一根光纤中传输; 在接收端, 又将组合光信号分开 (解复用) 并送入不同终端。IP over WDM 由于使用了指定的波长, 结构更灵活, 并具有向光交换和全光选路结构转移的可能。

10. 答: 光波分复用 (WDM) 技术就是在单根光纤内同时传送多个不同波长的光波, 使得光纤通信系统容量得以倍增的一种技术。WDM 在发送端采用光复用器 (合波器) 将不同波长的信号与光载波合并起来送入一根光纤进行传播; 在接收端, 再由一个光解复用器 (分波器) 将这些承载不同信号波长的光载波分开。这种技术不仅适用于单模和多模光纤通信系统, 同时也适用于单向或双向传输。