

2024 环球网校一级建造师《通信与广电工程管理与实务》考点精讲-第 3 讲

第 1 章 通信与广电工程专业技术

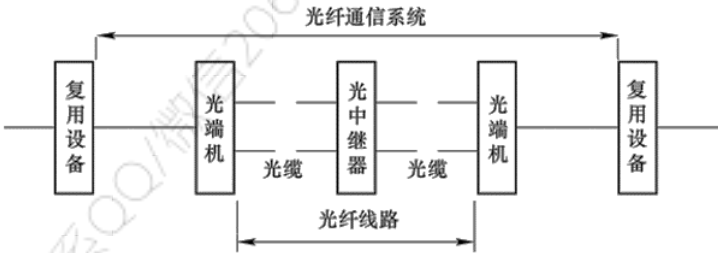
1.2 光纤传输系统

章节目录	2023	2022	2021	2020	2019	2018
光纤传输系统的构成	3	1		2		
基于时分复用技术的传输系统应用	1		1		1	1
基于波分复用技术的传输系统应用	2		1			3

1.2.1 光纤传输系统的构成

1. 数字光纤传输系统

基本结构由**光纤线路、光发射机、光接收机**组成。



光通信系统采用**数字编码、强度调制、直接检波**等技术。（2018 年多 28、口诀：直树强）所谓编码，是用一组**二进制码组**来表示每一个有固定电平的量化值。

强度调制就是在**光端机发送端**，通过调制器用电信号控制光源的发光强度，使光强度随信号电流线性变化。

直接检波是指在**光端机接收端**，用光电检测器直接检测光的有无，再转化为电信号。

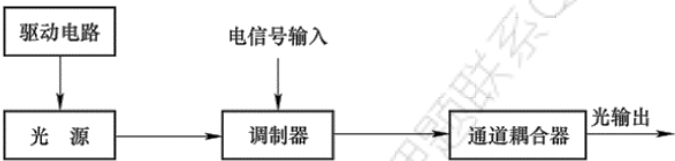
1) 光发射机

光发射机的作用是将数字设备的电信号进行**电/光转换**。

光源是光发送机的**关键器件**，它产生光纤通信系统所需要的**载波**；

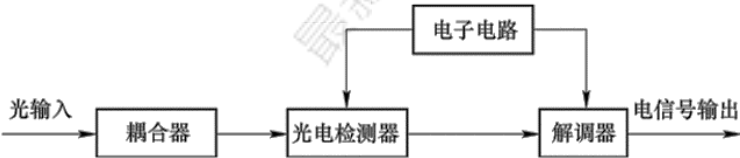
输入接口在电/光之间解决**阻抗、功率及电位**的匹配问题；线路编码包括**码型转换和编码**；

调制电路将电信号转变为调制电流，以便实现对**光源输出功率**的调节。



2) 光接收机

光接收机的作用是把经过光纤传输后，脉冲幅度被衰减、宽度被展宽的弱光信号**转变为电信号**，并放大、再生恢复出原来的信号。



3) 光中继器

光中继器的主要形式有以下两种：

(1) **光-电-光中继器**

(2) 光-光中继器

采用**掺铒光纤放大器**技术，只在光层面上直接进行光信号放大，并不进行波形整形和定时信号提取。

掺铒光纤放大器的问世和使用**实现了全光中继**。

2. 光纤通信传输网

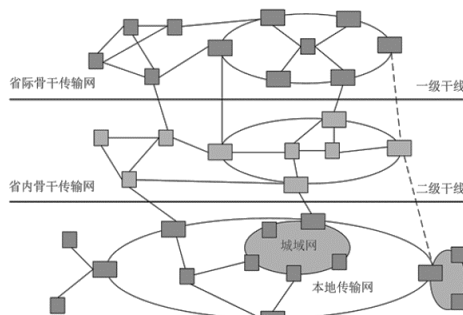
光网络是由光传输系统和在光域内进行交换/选路的光节点构成，并且光传输系统的传输容量和光节点的处理能力非常大，电层面的处理通常是在**边缘网络**中进行的，边缘节点是通过**光通道**实现与光网络的直接连通。

1) 我国光网络的分层结构分为 3 层

省际骨干传输网（也称为一级干线网）、

省内骨干传输网（也称为二级干线网）

本地传输网



光传输网络	分类	连接	结构
省际骨干传输网	—————	各省	网孔形或网状网
省内骨干传输网	—————	省内各地市	网孔形、网状网，环形网
本地传输网	核心层	本地网范围内核心节点，上联省内干线网	环形、网孔形
	汇聚层	本地传输网中的业务重要节点和通路重要节点	环形
	接入层	用户	环形、链形

2) 光纤传输网的发展历程

(1) SDH 主要用于传输 **TDM** 业务。

(3) MSTP 以传输 **TDM** 业务为主、支持多种分组业务传送。

(4) 自动交换光网络 (ASON) 在光传送网络中引入智能的**控制平面**。

(5) OTN 继承了 SDH 和 DWDM 技术的主要优势，采用**大带宽颗粒调度**，是传送网的**主流技术**。

(6) PTN/IPRAN 成为本地传输网的一种**最佳选择**。

3) 光纤传输网的发展趋势

(1) 网络结构逐步**扁平化**：汇聚层将逐渐淡出。

(2) **接口以太化**

(3) 传送内核**分组化**

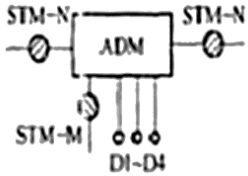
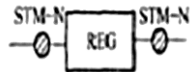
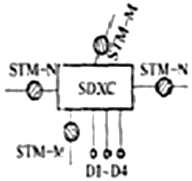
(4) 融合化

(5) 双平面

未来的高速通信网将是**全光网络**。

1.2.2 基于时分复用技术的传输系统应用

SDH 传输网由一些基本的 **SDH 网络单元 (NE) 和网络节点接口 (NNI)** 组成，通过光纤线路或微波设备等连接，进行同步信息接收/传送、复用、分插和交叉连接的网络。它有一套标准化的信息结构等级，称为同步传送模块 **STM-N (N=1, 4, 16, 64...)**

终端复用器 (TM)	最重要的网络单元之一多进一出	
分插复用器 (ADM)	最具特色、应用最广泛一进一出有分叉 ADM 是系统必不可少的网元节点 (2020. 2) 能够灵活地分插任意群路、支路和系统各时隙的信号;电路的安全可靠性大为提高	
再生中继器 (REG)	延长通信距离一进一出;	
同步数字交叉连接设备 (SDXC)	在 SDH 保护环网系统中, 常把数字交叉连接的功能内置在 ADM 中; 找到最合适、最经济的路由 一进一出上下分叉	



3) SDH 基本网络单元的连接

(1) 网络拓扑结构。

- ①线形, 节点串联起来, 首尾节点开放, 也称链形网络;
- ②星形, 节点中有一个特殊的点与其余的所有节点直接相连, 而其余节点之间互不相连。
- ③环形, 节点串联起来, 首尾相连, 没有任何节点开放。
- ④树形: **线性拓扑和星形拓扑**的结合。这种结构存在瓶颈问题, 不适合提供双向通信业务。
- ⑤网孔形: 可靠性极高, 结构复杂, 成本高。在 SDH 网中, 网孔结构中各节点主要采用 **DXC**,

一般用于**业务量很大的一级长途干线**。

(2) 网络组网实例及网络分层。

再生段	REG 与 TM、REG 与 ADM、REG 与 REG
复用段	ADM 与 TM、ADM 与 ADM
数字段	两个相邻数字配线架 (或其等效设备) 之间用于传送一种规定速率的数字信号的全部装置构成一个数字段。

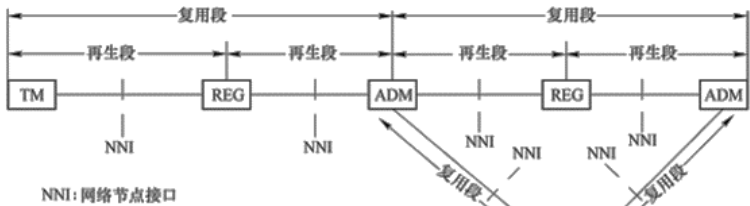


图 1.2-7 网络单元和网络节点接口在 SDH 网络中的位置示意图

4) SDH 传输系统的应用

SDH 的主要优势如下:

- ①具有标准的速率接口
- ②极大地增加了 OAM 功能
- ③完善的自愈功能增加了网络的可靠性
- ④具有网络扩展与升级能力

2. MSTP 系统的构成及功能

可以针对不同 QoS 业务提供**最佳传送方式**, 用于已经部署**大量 SDH**的运营商。

2) MSTP 的接口类型和支持的业务

(1) MSTP 的接口类型

①电接口类型。包括 PDH 的 2Mbit/s、34Mbit/s、140Mbit/s 等速率类型; 155Mbit/s 的 STM-1 电接口; ATM 电接口; 10/100Mbit/s 以太网电接口等。

②光接口类型。主要有**STM-N 速率光接口、吉比特以太网光接口**等。

(2) MSTP 支持的业务

①**TDM 业务**

②**ATM 业务**

③**以太网业务**

一是采用透传方式

二是采用二层交换功能

3) MSTP 的网络应用

MSTP 广泛应用于宽带 IP 城域网, 主要应用在宽带 IP 城域网的**汇聚层和接入层**。

3. ASON 的构成及功能

传输网中引入了**信令**, 并通过增加**控制平面**。

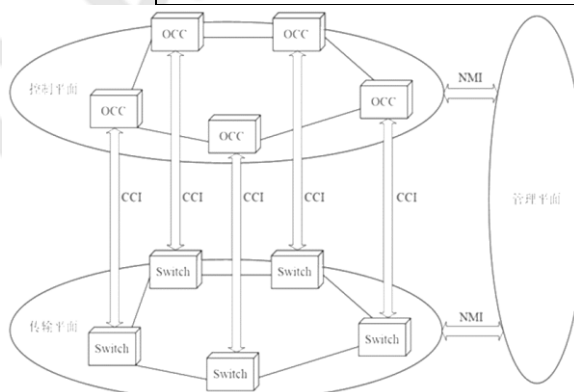
(1) ASON 的三个平面**(口诀: 管传控)**

①传送平面。在控制平面和管理平面的作用之下完成的, 控制平面和管理平面都能对传送平面的资源进行操作。

②控制平面。控制平面是 ASON 的**核心平面**, 控制平面由分布于各个 ASON 节点设备中的控制网元组成。

③管理平面。管理平面的主要功能是建立、确认和监视光通道, 并在需要时对其进行保护和恢复。

ASON 的管理平面有三个管理单元:**控制平面管理单元、传送平面管理单元和资源管理单元**。



(2) ASON 的三个主要接口

①**连接控制接口 (CCI)**。控制平面和传送平面之间的接口称为 CCI。通过 CCI 可传送连接控制信息。

②**网络管理 A 接口 (NMI-A)**。管理平面和控制平面之间的接口称为 NMI-A。通过 NMI-A 实现管理平面对控制平面的管理, 主要是对路由、信令和链路管理功能模块进行监视和管理。

③**网络管理 T 接口 (NMI-T)**。管理平面和传送平面之间的接口称为网络管理 T 接口 (NMI-T)。一个完整的 ASON 网络结构还包括**用户网络接口 (UNI) 和网络节点接口 (I-NNI、E-NNI)**等其他接口。

(3) ASON 的三种连接类型

①永久连接（PC）。是静态的，业务对实时性要求不高，业务并且持续的时间比较长，传统的 SDH 业务和网络中的非智能业务采用 PC 连接。

②交换连接（SC）。动态连接方式，通过信令建立连接，用户业务能满足快速、实时建立的要求，主要适用于突发性强、持续时间不长的业务，例如数据业务。

③软永久连接（SPC）。SPC 是介于 PC 和 SC 之间的业务连接。网络中的智能电路或者智能业务采用 SPC 连接。

2) ASON 的应用和演进

①ASON 省际干线网，网络结构为网状网和复杂环形网。

②ASON 省内干线网覆盖各省内的主干节点，采用网状网和单控制域结构。

③本地/城域网建设 ASON，应用在特大型或者大型城市的本地/城域核心层，以网状网结构为主，初期也可采用环形网结构。

(2) ASON 的演进（略）

4. PTN 和 IPRAN 系统的构成及功能

在 2G 时代是指基站收发信机（BTS）到基站控制台（BSC）之间的网络；

在 3G 时代是指 NodeB 到无线网络控制器（RNC）之间的网络；

在 LTE 阶段是指 eNodeB 至核心网（EPC）之间以及基站与基站之间的网络。

1) PTN 技术特点

基于分组的交换核心是 PTN 技术最本质的特点。是一种以分组为传送单位，承载电信级以太网业务为主，兼容 TDM、ATM 和快速以太网等业务的综合传送技术。

2) PTN 设备功能

PTN 将业务交换节点与传送节点相结合，PTN 能够承载的 IP 化业务主要有基站业务、重要集团类业务和全业务接入业务等。

(1) 终端设备（TE）

提供信道封装、信道复用和通道封装功能。

(2) 交换设备

分为三类，信道交换设备（CSE）提供信道交换功能，通路交换设备（PSE）提供通路交换功能，信道通路交换设备（CPSE）同时进行信道和通路交换。

终端设备不提供交换功能，一般应用在用户网络边缘等简单网络环境下，交换设备可以应用在运营商网络边缘、网络核心或用户网络边缘，提供交换和组网能力。

3) IPRAN 技术特点（略）

4) IPRAN 的设备构成（略）

5) PTN 和 IPRAN 的组网模式

PTN 和 IPRAN 主要应用在城域传输网中，接入层、汇聚层和核心层均可应用，小型网络中可以将汇聚层与核心层合二为一，称为核心汇聚层。

(1) 接入层

主要作用是负责基站业务、集团客户业务等接入。组网结构主要有环形、树形双归和链形。一般采用环形结构，但应尽量避免长链结构。

(2) 汇聚层

主要负责接入层业务的汇集和转发。采用口字形、树形双归和环形与两个核心设备相连。

(3) 核心层

主要负责汇聚层业务转发。核心层设备的数量控制在 2~4 个，设备之间宜采用网状网结构，或树形双归、口字形。

6) PTN 与 IPRAN 的比较

根本区别在于对网络承载和传输原理有所不同，主要区别如下：

(1) PTN 侧重二层业务，整个网络构成若干庞大的综合的二层数据传输通道，这个通道对于用户来讲是透明的，技术方案重在网络的安全可靠性、可管可控性以及更好的面向未来 LTE 承载等方面。

(2) IP-RAN 则主要侧重于**三层路由**功能,对于用户来讲,路由器具有**很好的开放性**,业务调度也非常灵活,但是在**安全性和管控性方面则略显不足**。

1.2.3 基于波分复用技术的传输系统应用

1. DWDM 系统的构成及功能

DWDM (密集波分复用系统),在 **1550nm** 窗口附近波长间隔只有 **0.8~2nm**,甚至小于 0.8nm (目前一般为 **0.2~1.2nm**)。

1) DWDM 系统的工作方式

(1) 按**传输方向**的不同, DWDM 可分为双纤单向传输系统(常用)和单纤双向传输系统。

(2) 从系统的兼容性方面考虑可分为**集成式系统、开放式系统**(常用)。

① 双纤单向传输系统: 同一波长在**两个方向上重复利用**。

优点是可以充分利用**光纤的巨大带宽资源**,而且在同一根光纤上所有光信道的光波传输方向一致,对于同一个终端设备,收、发波长可以占用一个相同的波长。缺点是需要两根光纤实现双向传输,**光纤资源利用率较低**。

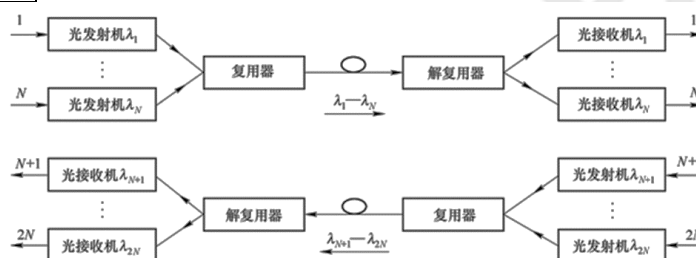


图 1.2-10 双纤单向 DWDM 传输系统

② 单纤双向传输系统

优点是允许**单根光纤携带全双工信道**,通常可以比单向传输节约一半光纤器件,而且能够更好地支持点到点在 SDH 层实施的**1+1、1:1**保护结构。

一是收、发波长应分别位于**红波段区和蓝波段区**

二是在设备终端需要进行**双向信道隔离**

三是在光纤信道中需采用**双向放大器**实现两个方向光信号放大。

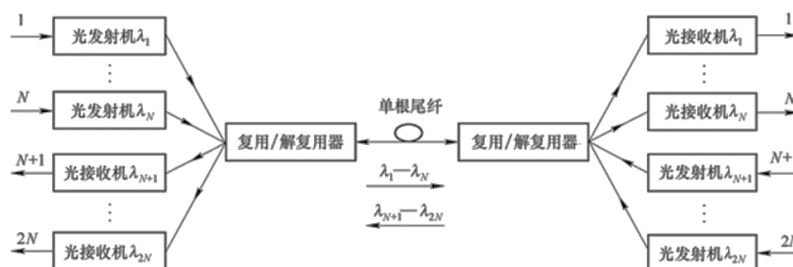


图 1.2-11 单纤双向 DWDM 传输系统

(2) 从系统的兼容性方面考虑可分为**集成式系统、开放式系统**。

开放式在发送端和接收端设有**波长转换器(OTU) (2021 年单 2)**,作用是不改变光信号数据格式情况下,把光波长按一定要求重新转换,以满足 DWDM 系统的波长要求。

现在绝大部分是**开放式系统**。

2) DWDM 系统主要网元及其功能

主要网络单元有

光终端复用器(OTM)、光线路放大器(OLA)、光分插复用器(OADM)、光交叉连接器(OXC),

其中 OTM 包括**光合波器(OMU)、光分波器(ODU)、光波长转换器(OTU)及对应的光放大模块(OBA、OPA)和光监控信道模块(OSC)**。

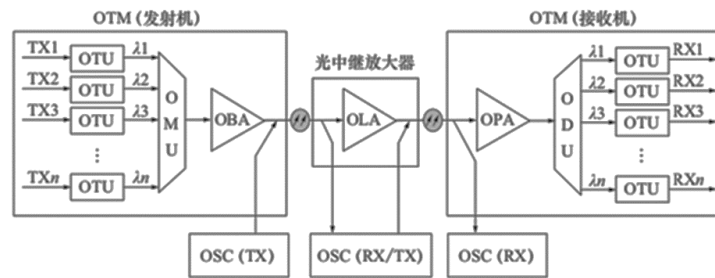


图 1.2-12 典型的 DWDM 系统（单向）组成示意图

(1) OTM

①OMU/ODU：将不同波长的光载波信号汇合在一起用一根光纤传输，在接收端完成 ODU 的功能，即对各种波长的光载波信号进行分离。

②OTU：在发送端将 **G. 957 标准** 的波长转换成符合 **G. 692** 规定的接口波长标准，接收端完成相反的变换。

③OBA/OPA：OBA 在发送端对合波后的光信号进行放大，**提高光信号的发送功率**，以延长传输距离，OPA 在接收端对接收到的光信号进行放大，以**提高接收机的灵敏度和信噪比**。（2022-26、2018-28）

④OSC：在发送端光后置放大之后，将波长为 λ 的 OSC 插入到主信道之中，在接收端光前置放大之前分离出 OSC。

(2) OLA

OLA 是一种**不需要**经过光—电—光变换而直接对光信号进行放大的有源器件，它能高效补偿光功率在光纤传输中的损耗，延长通信系统的**传输距离**。OLA 一般采用**掺铒光纤放大器（EDFA）**，（2023 年多 22）

(3) OADM

利用光波分复用技术在光域上实现**波长信道的上下**。

（2018-6）

(4) OXC（2017-4）

OXC 是实现全光网络的**核心器件**，在光域上实现光信号的**交叉连接**功能，有效地解决 DWDM 灵活的组网的问题。

3) DWDM 系统的组网应用

主要应用在**省级干线网络（省际干线和省内干线传输网）和本地/城域传输网的核心层**。

在 IP 网中，DWDM 网络由于要求高性能的器件，价格较高，一般用于**IP 骨干网**。

DWDM 系统的组网方式包括**点对点组网、链形组网、环形组网和网状网组网**。

组网方式	结构	特点
点到点 （最普遍、最简单）	不需要 OADM ，只由 OTM 和 OLA 组成	结构简单、成本低，增加光纤带宽利用率，但 缺乏灵活性
链形	在 OTM 之间设置 OADM	可以实现灵活的波长上下业务，而且便于采用 线路保护方式 进行业务保护
环形	节点一般都设置为 OADM	一次性投资要比链形网络大，系统出现故障时，可采用基于波长的 自愈环 ，实现快速保护倒换
网状网	节点上均需 设置一个 OXC	可靠性高，生存性强 ，但 投资成本较大 在业务量大且密度相对集中的地区采用

2. OTN 的构成及功能

是目前**面向宽带客户数据业务**驱动的**最佳**传送技术。

1) OTN 的特点与优势

从功能上看, OTN 就是在**光域内**实现业务信号的传送、复用、路由选择和监控, 并保证其性能指标和生存性。它的出发点是**子网内全光透明**, 而在子网边界采用**O/E 和 E/O 技术**。是适应各种通信网络演进的**理想的**基础传送网络。

OTN 的设计初衷是将 SDH 作为净负荷**完全封装到 OTN 中**, DWDM 相当于是**OTN 的一个子集**。

(1) OTN 的特点

①可提供多种客户信号的封装和透明传输, 基于 G.709 标准的 OTN 帧结构可以支持多种客户信号的映射和透明传输。

②具有大颗粒的带宽复用和交叉调度能力。在光层上利用**ROADM**来实现波长业务的调度。

③可提供强大的保护恢复能力, 在电层支持基于 ODUk 的**子网连接保护和环网保护**等; 在光层支持基于波长的**线性保护和环网保护**等。

④具有强大的开销和维护管理能力, OTN 定义了丰富的开销字节, 大大增强了数据监视能力。

⑤增强了组网能力。

(2) OTN 相对于 SDH 传输网的优势

①容量的**可扩展性强**。

②**客户信号透明**。

③**降低了组网成本**。

④多达 6 级的**TCM 管理**能力。

(3) OTN 相对于 DWDM 传输网的优势

①有效的**监视能力**和供应保障及**网络生存能力**;

②灵活的光/电层调度能力和电信级的可管理、可运营的组网能力。

2) OTN 主要网元及功能

OTN 的关键设备包括**光终端复用设备、电交叉连接设备、光交叉连接设备、光电混合交叉连接设备**。其中核心设备是**光交叉连接设备**, 具体采用**可重构光分插复用器 (ROADM)**。

ROADM 克服了传统 OADM 只能上下固定数目选定波长的缺点, 支持**任意波长到任意端口的指配**, 配合可调谐 OTU, 实现**光网络波长自由上下**, 真正实现了灵活可控的光层组网能力和对复杂业务的调度能力。

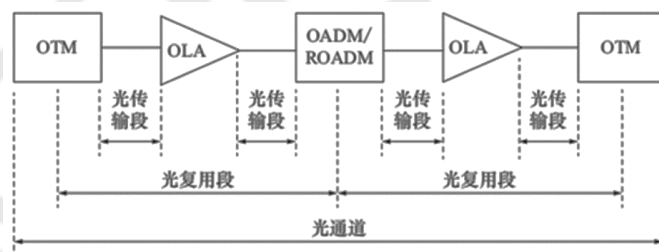


图 1.2-13 典型的 OTN 系统链形网组成示意图

(1) ROADM 的功能 (略)

(2) ROADM 的技术及分类

核心部件是**波长选择功能单元**, 根据该单元的技术不同, ROADM 可以分为以下 3 种。

①基于波长阻断器的 ROADM; 只能**支持 2 个方向**, 属于二维 ROADM (支持 2 个光收发线路和本地上下)。

②基于平面波导电路的 ROADM; 只能支持**2 个方向**, 属于二维 ROADM。

③基于波长选择开关的 ROADM; 属于多维 ROADM (至少支持**3 个**以上光收发线路和本地上下)。

3) OTN 的应用

目前 OTN 技术的应用主要集中在干线网络和本地/城域传送网的**核心层**, 设备配置的原则是: 有 3 个以上出口方向的节点采用**多维 ROADM**, 只有 2 个出口方向的节点采用**二维 ROADM**。

(1) 省际干线 OTN 组网方案

网状网 (Mesh) 结构, 部分边缘省份通过**环网**将业务接入。

(2) 省内干线 OTN 组网方案

①复杂环形组网方案

②网状网+环形网组网方案

多个核心节点之间交互容量很大，组成**网状网**，其他地市节点按**环形网**组织连接到网状网相应节点上，其业务向网状网区域汇聚。

(3) 本地/城域 OTN 组网方案

①大规模城域 OTN 组网方案。核心层、汇聚层可考虑独立组网。核心层采用**网状网**结构。汇聚层主要采用**环形组网**，要求每个环跨接到**两个核心节点上**。

②中小规模城域 OTN 组网方案。在建网初期，可将**核心层、汇聚层**合并组建一层 OTN。中小规模城域 OTN 组网时采用**环形结构**，要求每个环跨接到**两个核心节点**上。