

# ROADM和OXC技术在本地波分网络中的应用部署研究

梁伟军 崔素峰

河南省信息咨询设计研究有限公司 河南 郑州 450008

**摘要:** 随着5G、千兆光网及政企专线业务的蓬勃发展,本地传送网正面临前所未有的带宽压力与调度灵活性挑战。传统的固定光分插复用(FOADM)网络因依赖人工跳纤,已无法满足业务快速开通、动态调整和高效运维的需求。可重构光分插复用器(ROADM)技术,特别是其高集成化演进形态——光交叉连接(OXC),凭借软件定义的波长级调度能力,成为构建新一代智能本地波分网络的核心。本文针对运营商本地网“市-县-乡”三级架构,提出了兼顾性能、成本与未来演进的差异化部署方案。最后,文章简要论述了与之匹配的WSON控制平面部署策略,为本地波分网络的智能化升级提供了切实可行的参考路径。

**关键词:** ROADM; OXC; 本地波分网络; WSS; CD-ROADM; Mesh组网; WSON

## 引言

在数字经济时代,本地传送网作为连接用户与云数据中心的“最后一公里”和“中间光信号中继”,其重要性日益凸显。新型业务对网络的带宽、时延、可靠性和敏捷性提出了严苛要求。传统基于FOADM的波分网络存在固有缺陷,波长上下路固定,任何业务调整均需工程师赴现场进行物理跳纤,不仅耗时耗力、易出错,更严重制约了业务的快速响应能力。同时,随着网络规模的扩大,机房内错综复杂的尾纤也带来了空间占用大、功耗高、运维困难等一系列问题。

ROADM通过引入可编程的光器件,实现了波长的远程、无阻塞调度,彻底摆脱了对人工跳纤的依赖。而OXC作为ROADM技术的延续,通过全光背板和高集成度板卡,将ROADM的维度、容量和可靠性推向了新的高度。因此,在本地波分网络中科学、合理地部署ROADM和OXC技术,不仅是提升网络自动化水平的关键,更是构建面向未来的弹性、高效、智能光底座的必然选择<sup>[1]</sup>。

## 1 ROADM 技术演进:从 AWG 到 WSS

ROADM的核心在于其能够动态选择和调度特定波长。这一能力的实现,离不开合分波器件的技术革新。早期主流的FOADM方案中,常采用阵列波导光栅(AWG)作为合分波器件,AWG利用平面光波导电路(PLC)技术,可以批量生产、支持多信道,但其主要缺点是插损较大(通常在6-11dB),且一旦制造完成,其通道间隔和中心波长即固定不变,缺乏灵活性<sup>[2]</sup>。

WSS是一种可动态配置的光开关,能够独立地对每个波长进行开关、衰减和路由操作。目前,基于碳基液晶(LCoS)技术的WSS已成为市场主流。LCoS-WSS通过控制液晶像素的相位,精确偏转不同波长的光束至指

定输出端口,不仅支持灵活栅格(FlexGrid),能更好地适配100G、400G等高速率信号,而且具备如32D、40D的高维度、低串扰和良好的可扩展性。

## 2 OXC 技术:高集成化的 ROADM 演进

ROADM是光网络自动化的起点,光交叉连接(OXC)则是其在集成度和简化运维方面的重大飞跃。OXC的核心创新在于全光背板(Optical Backplane)技术,传统ROADM节点内部,各WSS板卡之间需要通过大量光纤进行手工或半自动连接,这不仅导致机柜空间占用大、功耗高,还引入了众多潜在的故障点。OXC则彻底摒弃了这种“独木桥”式的内部连纤,采用类似PCB板的工艺,将上千根光纤预先以亚微米级精度布局并固化在一块纳米聚合物薄膜上,形成一块坚固可靠的光背板<sup>[3]</sup>。

在此基础上,OXC采用高集成度一体式板卡:

(1) 线路侧一体板卡:单槽位即可集成一个光方向所需的全部功能(如双向WSS、光放大器、监控单元等),支持20以上维度的无阻塞调度。

(2) 上下路一体板卡:内置双组Twin WSS,一组连接光背板,一组连接OTU,单板可支持多达32个OTU的灵活上下路,并内置光放大器进行功率调整。

这种架构带来的优势是革命性的,经测算机房空间可节省50%以上,功耗显著降低,线缆数量锐减,尤其在网络维度越高时,OXC相对于传统ROADM的优势越为明显。

## 3 单节点模型:不同场景的应用聚焦

在不同的WSS组合之下,ROADM拥有多种配置模型中,可实现以下功能组合:

(1) Colorless(无色):指本地上下路的任意端口可以承载任意波长的业务,无需为特定波长预留专用端

口，极大地提升了端口利用率。

(2) Directionless (无向)：指任意本地业务可以被上路到任意一个线路方向，同样，来自任意线路方向的业务都可以被下路到任意本地端口。

(3) Contentionless (无冲突)：无冲突特性通过为每个波长通道配置独立的上下路路径或交换资源，确保相同波长的业务可以并行处理，互不干扰。

CD-ROADM因其卓越的调度能力，成为当前最具应用价值的单节点模型。其典型实现方式是在上下路侧部署WSS。外部线路侧WSS负责从所有线路方向接收下路信号并将其路由到任意本地OTU，本地线路WSS则负责将任意本地OTU的信号上路到任意线路方向。这种架构虽然增加了WSS的数量和成本，但换来的是业务调度自由度，为WSON控制平面的动态重路由提供了坚实的物理层保障。

### 3.1 本地核心节点

本地网核心节点推荐配置模型：

(1) 线路侧WSS：按方向配置，至少采用9维板卡，当线路方向  $\geq 6$  个，应采用20维板卡，业务量大、尤其是省干核心节点所在本地网，应采用OXC设备。

(2) 本地线路侧WSS：应至少配置一组，从业务调度灵活性和安全性考虑，原则上应配置两组。

(3) 上下波单元：至少应采用20维度的上下波板卡。

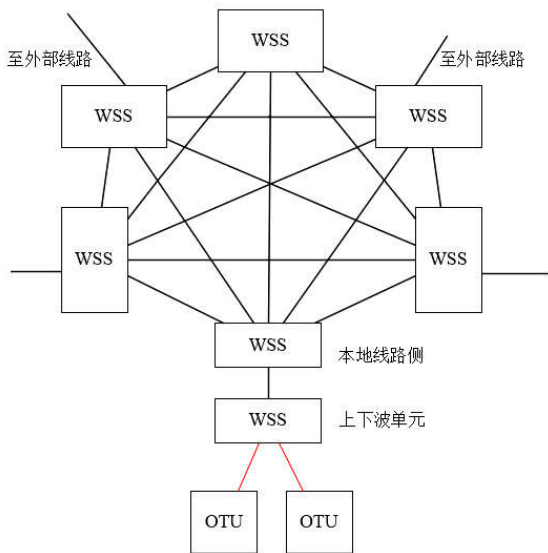


图1 本地核心节点CD-ROADM配置模型

### 3.2 本地汇聚节点

本地网汇聚节点推荐配置模型：

(1) 线路侧WSS：同核心节点配置，除非机房空间紧张，从造价考虑应优先采用ROADM设备。

(2) 本地线路侧WSS：原则上应配置两组。

(3) 上下波单元：同核心节点配置。

### 3.3 本地乡级节点

根据节点的重要等级，可采用CD-ROADM和C-ROADM的混合模式，CD模式参考图1，C模式见图2。

本地网乡级节点推荐配置模型：

(1) 外部线路侧WSS：采用ROADM设备，按方向配置，对于乡级节点9维板卡完全满足组网需求。

(2) 本地线路侧WSS：对于重点保障的乡级节点，可配置1组本地维度，非重要节点可不配置，可额外配置光倒换单元对OTU彩光端口进行线路保护。

(3) 上下波单元：配置有本地线路维度的节点，可配置相应的上下波单元，对于单波100G系统，9维板卡完全满足乡级节点需求。

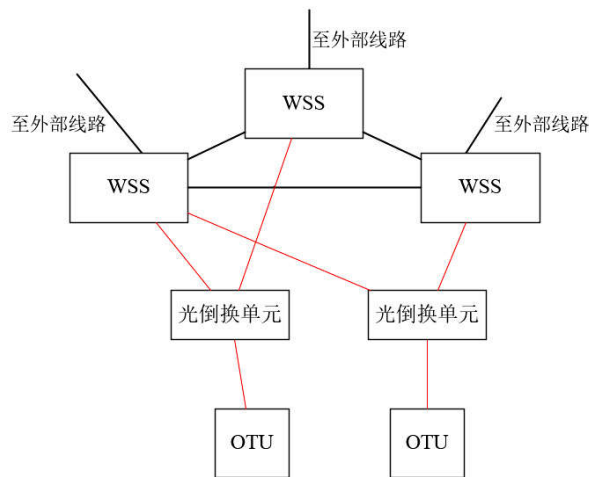


图2 本地乡级节点C-ROADM配置模型

## 4 在运营商本地网中的应用：市-县-乡差异化部署

本地传送网通常呈现清晰的“市-县-乡”三级分层结构，各层节点的业务量、重要性和成本敏感度差异巨大，因此必须采取差异化、性价比最优的部署策略。

### 4.1 市县核心汇聚层

根据光缆现状及光缆规划，优先构建立体Mesh网络。市区核心节点是整个本地网的流量枢纽，连接着多个县城、大型数据中心和重要政企客户，东西向流量占比高且流向复杂，应优先部署OXC，有效缓解核心机房空间紧张的问题。

县城节点作为承上启下的关键环节，通常需要连接市区核心和下属多个乡镇。考虑到成本因素，可部署9维或20维的CD-ROADM。复用段之间应尽量配置OMSP，两个环间可在物理邻近节点通过OMS沟通并作为冗余线路，当启用WSON协议，可通过互通节点逃生。

基础架构具备条件的本地网应建设两张ROADM网络，两个核心节点、各县一节点组织一张网络，各县二节点组织二平面网络，市县光缆尽量异构，做到业务双

平面分摊。

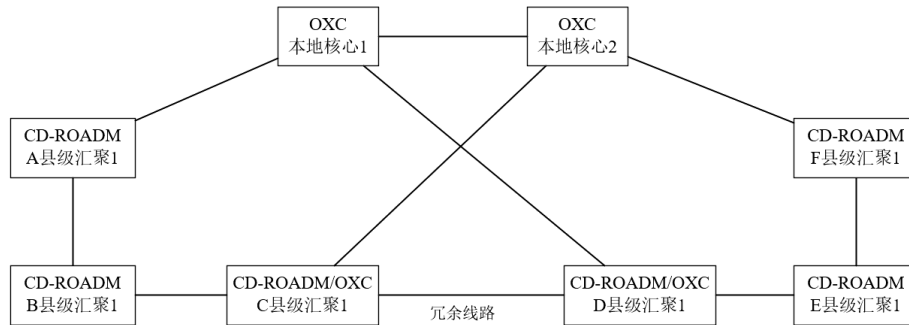


图3 本地市县组网模型（单平面）

#### 4.2 县乡边缘汇聚层

乡镇节点业务量相对较小，且对成本极为敏感，应注重性价比，灵活选用CD或C组网。对业务重点保障的乡级节点可配置CD模式，普通节点应配置C模式。组网模式上，环形结构依然是最经济、最可靠的选择，邻近县级节点的乡级节点优先双路由上联两个县节点，环中物理相邻节点可建设光层打通。

对于C模式的节点，可选择配置光保护单元对OTU进行环网保护。该层级ROADM网络应优先启用WSON协议，依靠WSS、预制路由实现业务路由的倒换，应避免节点之间建设OMSP保护，增加不必要的光层投资。

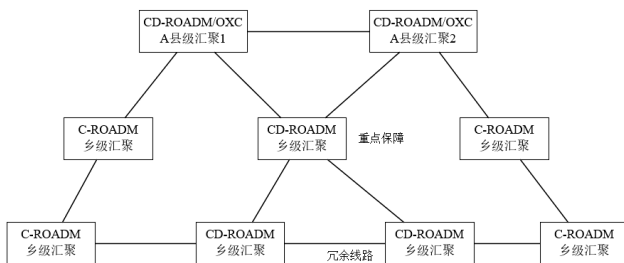


图4 本地县乡组网模型

#### 5 WSON 的部署：集中与分布的协同

ROADM/OXC提供了灵活的物理层基础，而波长交换光网络（WSON）则为其注入了智能的“大脑”。WSON基于GMPLS协议族（OSPF-TE、RSVP-TE、LMP等），并引入路径计算单元（PCE）来解决光网络中复杂的路由与波长分配（RWA）问题。

在本地网中，WSON的部署模式需兼顾效率与可靠性：

**集中式（PCE主导）：**在市级部署主备PCE服务器，所有业务请求均由PCE基于全局网络视图进行路径和波长计算，能有效避免资源冲突，算路成功率高，适合高价

值、高可靠性的业务，适合复用段距离不大的本地网络。

**分布式：**各节点自主进行路径计算和信令交互。这种方式不依赖中心节点，但容易因局部视图不全而导致算路失败，适用于对可靠性要求不高的边缘场景。

**混合式：**结合两者优点，正常情况下由PCE集中计算，保证业务质量；当PCE发生故障时，网络可自动降级为分布式模式，维持基本的业务开通能力。

推荐部署混合式，通过WSON的部署，这种模式既保证了日常运营的高效，又增强了网络的整体韧性。本地波分网络真正实现了从“静态管道”到“动态服务”的转变，能够根据业务SLA自动选择最优路径，在光缆发生故障后，快速完成业务的恢复或倒换。

#### 6 结语

本文系统探讨了ROADM和OXC技术在本地波分网络中的部署应用。研究表明，从AWG到WSS的器件演进，为ROADM的灵活性奠定了基础，在单节点层面，CD-ROADM因其无色无向的特性，成为支撑智能调度的最佳选择。面向“市-县-乡”三级本地网架构，核心层部署OXC构建Mesh网络以追求极致性能，汇聚层选用CD-ROADM以平衡能力与成本，接入层则以环网为主确保经济性。最后，通过部署WSON控制平面，可充分释放ROADM/OXC的潜力，实现业务的自动化开通与智能恢复。

#### 参考文献

- [1]关梦婷.基于WSON的业务保护与恢复机制的研究[D].武汉邮电科学研究院,2022.DOI:10.27386/d.cnki.gwyky.2022.000030.
- [2]YD/T 5256 波长交换光网络WSON工程技术规范[S].
- [3]YD/T 5261 可重构的光分插复用ROADM网络工程技术规范[S].