

## 城域网波分复用技术及应用

由于 Internet 的驱动及 IP 业务的长足发展，促使长途骨干网 WDM 的容量一再扩大和 IP 接入带宽爆发增长，从而将城域光传送网的发展推到一个交叉路口。在激烈竞争的城域市场环境，要提高竞争力需要全面的解决方案，如提供所需带宽、不同等级的服务、降低成本等。显然，在整个传输网结构建设上，既要寻求在短期内扩大通信网容量、充分利用现有光缆资源，又要降低成本的网络扩容方案，城域网 WDM 技术成为每个网络运营商追求的目标。

### 一、城域网 WDM 技术

目前在城域网中应用的 WDM 技术主要有两种：DWDM 和 CWDM（Coarse WDM，粗波分复用）技术。

城域 DWDM 在系统结构上部分继承了长途骨干网 DWDM 的技术特点，采用 16/32(40) 波光分插复用（OADM）系统，同时在业务的接入种类和组网的灵活性上做了大量的改进，使之适合于城域网的环网应用。目前城域 DWDM 技术已经非常成熟，而且在国内外已经广泛应用，因此本文仅就 CWDM 作详细讨论。

CWDM 技术考虑了城域网传输距离短的特点，无须选择价格昂贵的高波长稳定性和高色散容限的激光器一般提供 4/8/16 波，其具有综合成本低廉和安装的方便等特点，已在欧美及日、韩等国得到大量的工程应用。国内也正在积极开展 CWDM 的应用研究。

CWDM 技术诞生于 20 世纪 80 年代初，当时的 Quante 公司推出了一个工作在 800nm 窗口、每信道的速率为 140Mbit/s 的四波系统，它首先应用在利用多模光纤传输数字视频信号的有线电视的广播链路。

与 DWDM 系统不同，CWDM 系统采用的是不带冷却器的分布式反馈（DFB）激光器和宽带光滤波器，因此 CWDM 系统具有以下优点：功率损耗低、尺寸小，大大降低了城域网建设的综合成本。

DWDM 系统的工作波长是依据国际电信联盟（ITU）的标准定义的，其波长间距一般为 200GHz（1.6nm），100GHz（0.8nm）或 50GHz（0.4nm）。在 DWDM 系统中，采用 DFB 激光器作为光源，DFB 激光器的温度漂移系数为 0.08nm/°C，它需要采用冷却技术来稳定波长，以防止由于温度变化波长漂移到复用器和解复用器的滤波器通带之外。

CWDM 系统采用不需要冷却的 DFB 激光器，当 CWDM 系统工作在 0° 到 70° 的温度范围内，其激光器的波长漂移一般有 6nm。这个波长漂移再加上激光器生产过程造成的 ±3nm 波长变化，总共大约有 12nm 的波长漂移变化。这样就要求光滤波器的通带和激光器信道间距必须足够宽。CWDM 系统信道间距一般为 20 nm。

当复用的信道数等于或小于 16 时，CWDM 系统在成本、功耗和设备尺寸方面比 DWDM 系统更具优势。这两种技术进行比较如下：

CWDM 和 DWDM 系统之间的成本差别主要是由于波长间隔宽、传输距离短等原因。CWDM 大幅度降低成本的途径：

由于使用无致冷和对波长误差放宽的廉价激光器，如 DWDM 激光器的波长容差的典型值为  $\pm 0.1\text{nm}$ ，然而 CWDM 激光器的波长容差却高达  $\pm 2\sim 3\text{nm}$ 。在复用器和解复用器方面，由于 CWDM 的滤波器包含的层数少（大约有 50 层），故 CWDM 滤波器的成本比 DWDM 滤波器的成本低 50%。CWDM 只需选择廉价的粗波分复用器和解复用器。

由于器件成本和系统要求的降低，使得 CWDM 系统的造价比 DWDM 系统大幅下降。

光传输系统的运营成本取决于系统的维护和系统消耗的功率。DWDM 系统的功耗要比 CWDM 系统的功耗高得多。例如，四波 CWDM 光传输系统大约消耗 10—15W 的功率，而类似的 DWDM 系统却要消耗的功率高达 30W。

CWDM 激光器要比 DWDM 激光器小得多，不带冷却器的激光器一般是由激光片和密封在带有玻璃窗口的金属容器中的监控光电二极管构成的。DWDM 激光发射机的尺寸大约是 CWDM 激光发射机体积的五倍。

如今，厂家已能够提供 2 到 8 个波长的商用 CWDM 系统，将来这些系统有望在 1280nm 到 1625nm 的频谱内扩展到 16 个复用波长。目前，大多数 CWDM 系统工作在从 1470nm 到 1625nm 的范围内，其信道间距为 20nm。此外，在 1310nm 窗口附近系统也在开发之中。

目前，美国的 1400nm 商业利益组织正在制定 CWDM 系统标准。建议草案考虑的 CWDM 系统波长栅格分为三个波段。分别是：“O 波段”包括四个波长：1290、1310、1330 和 1350nm；“E 波段”包括四个波长：1380、1400、1420 和 1440nm；“S+C+L”波段包括从 1470nm 到 1610nm 的范围，间距为 20nm 的八个波长：1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590, 1610nm。20nm 的信道间距允许利用廉价的不带冷却器的激光发射机和宽带光滤波器，同时，它也躲开了 1270nm 高损耗波长，并且使相邻波段之间保持了 30nm 的间隙。

这些波长利用了光纤的全部光谱，从而既增加了复用的信道数，又可与传统的 SDH 系统进行互通。

同时，随着光纤制造技术的发展，很多光纤厂商能提供城域网用的广谱光纤。该类光纤通过采用新工艺去掉了 1385 nm 附近的水吸收峰，从而大大扩展了光纤可用频谱（可增加约 100 nm）。由于这种光纤可以提供完整的光谱频段（从 1260nm—1625nm），从而支持 CWDM 技术在城域网中的应用。

## 二、城域网 WDM 技术典型应用

由于两种技术各自的特点，使得它们在城域网中的应用各有千秋。

DWDM 最大的特点在于能提供大容量的数据接入和传输，而且技术已经非常成熟，在长途骨干网中已经广泛应用。

目前国内几大电信运营商都倾向于采用 DWDM 系统进行城域网建设，在大型城市城域网骨干层的 WDM 设备采用 32 (40) 波城域波分复用 (WDM) 光分插复用 (OADM) 设备。

但是，考虑到大多数大中型城域网面临着复杂的组网环境及短距离的特征，城域 DWDM 技术在很多大中型城市的城域网骨干层并不是最好的选择。

CWDM 技术由于其廉价、结构简单、灵活多样的特点，使之特别适合我国绝大部分地区的城域网建设需要，它既可以应用在东南部沿海城市的区级的核心网络，更有机会在西部大开发的中小城市的城域网建设中找到自己的用武之地。CWDM 具有与 DWDM 技术一样的多业务接入和组网灵活的特性，把 CWDM 传输系统和高性能路由交换机连接起来就可以构成宽带 IP 城域网，也可以把 CWDM 传输设备直接与路由交换机相连，由路由交换机直接驱动光传输设备。路由交换机对各波长和数据流都可以进行分/插。IP over CWDM 宽带 IP 城域网骨干网与 100/1000Mbit/s 以太接入网可以无缝连接，中间不需要格式转换，同时，可以便宜高效地实现 100/1000Mbit/s 接入速率的宽带 IP 城域网。

### 三、城域网 WDM 技术发展

目前在城域网中应用的 WDM 系统主要是帮助解决光纤资源紧张及容量的问题，其不足之处在于不能非常灵活的接入多样化的业务，此外，不支持动态配置波长，实现光层网络恢复。总的来说，城域网技术发展主要从两个方面考虑：

城域网可采用 IP over WDM 技术，采用 GE 帧直接 over WDM。以太网复用器可将 N 路 GbE 以 TDM 方式合成一路传输，这种帧格式实现简单，而且，由于这种可变速率格式的速率要求对光纤性能要求不高，也可以应用一些性能下降的旧光纤。此外，传输采用 WDM 技术，路由器采用 N×GbE 端口较 SDH 端口便宜得多。

采用由波长路由器（光交换机）和 WDM 系统构成的智能光网核心网和设置在边缘的以太网路由器构成的宽带城域网。在核心光网上采用以太网帧传输，边缘则为 10GbE 或 GbE 以太网。这种核心网可以采用网状网结构，采用 MPLmS 协议等提供 QoS 和流量工程，这样可以减少对电路由器性能要求的压力，提供更高的性能。

采用子速率带宽配置技术，充分利用每个波道的容量。由于城域网波长资源有限，单纯承载小颗粒业务对带宽的利用率不高，所以城域 WDM 系统采用 T-MUX（透明复用）方式，将子速率带宽（也即小颗粒业务信号）进行“捆绑”传送。目前应用较多的是 4x2.5G→10G、2xGE→2.5G、8xGE→10GE、8xFE→GE、8x155M+2x622M→2.5G 等透明复用接口。这样，可以大幅降低投资及运营成本，城域网中业务复杂多样性的问题得到了根本的解决。

如果我们考虑到网络的可管理、可运营以及城域网的恢复机制，就不能不谈到 ASON（自动交换光网络）。传统意义上的 OXC 仅仅具有静态网络配置的能力，主要靠网管系统进行调配，无法适应日益动态的网络和业务环境，特别是随着 IP 业务成为网络的主要业务量后，由于 IP 业务量本身的不确定性和不可预见性，对网络带宽的动态分配要求将越来越迫切，网络急需实时动态配置能力，即智能光交换能力。为了能够建立一个智能化的传输网络，必须在过去传统的传输网中引入交换信令的概念。ASON(也称 ASTN)便是我们目前所

能够实现的智能传输网络协议，其实质就是在传输网中引入动态交换。ASON 允许将网络资源动态地分配给路由，具有恢复和复原能力，使网络在出问题仍能维持一定水准的业务，特别是具备分布式恢复能力，可以实现快速业务恢复；ASON 还可将光网络资源与数据业务分布自动联系在一起，形成一个响应快和成本低的光传送网；同时，ASON 还可以提供大量新的业务类型，诸如按需带宽业务、波长批发、波长出租、带宽交易、按使用量付费、光拨号业务、动态路由分配、光层虚拟专用网等。

可以预计，随着全网业务的迅速数据化，特别是宽带 IP 业务的快速发展，ASON 将不仅可以提供巨大的网络带宽，而且可以提供可持续发展的动态网络结构、有保证的性能以及廉价的成本来支持当前和未来的任何业务和信号，成为支持下一代电信网的最灵活有效的基础设施和新的波长业务的直接提供者。显然，ASON 最终将成为光网络也是城域光网络演进发展的最高境界。

随着城域 WDM 技术的发展，在建设城域传输网时，对于城域网技术的选择及应用可以根据需要考

虑：城域网建设采用 WDM 技术的初始目的在于解决城域网枢纽点光纤资源紧张的问题，因此，城域网建设的第一步是通过建设点到点系统解决光纤紧缺。第二步是逐步建设自动配置的 OADM 形成光自愈环，此时的 WDM 网开始具有简单的光层联网功能，节点可以根据组网的需要插入或分路一组选择的波长。将现有的 SDH 自愈环业务汇聚到光自愈环，从线形系统开始不中断业务的升级到自愈环。在核心节点设置并行式 OADM（背靠背 WDM TM），增加新波长时，无须对整个网络重新进行工程调整。第三步是引入 OXC 互连大量的光自愈环形成网状网结构，在核心节点进行波长转换，从而带来网状网结构的大量好处，还能提供端到端波长业务。支持点到点、环和网状网，可动态在线增加波长和节点。在网状网中增加新的线路，无须对整个网络重新进行工程调整。网状网便于今后实现全光的环间互联，能更有效地用于保护的网资源，将来为了实现网状网的保护和动态连接，可在核心节点加入光交换机。最后，在合适的阶段，依靠光交换及路由技术的发展，在 OXC 的基础上引入自动交换光网络，进一步实现动态分配部署波长通路，以适应 IP 业务量的需要，从而实现城域全光网。

---- 《通信世界》

## 城域网中波分复用(WDM)技术介绍

hc360 慧聪网广电行业频道 2003-11-12 15:40:05

多业务宽带城域网正逐渐成为电信和网络建设的热点。随着城域网中业务的不断丰富和增加，对城域网的容量要求也越来越高。对于很多运营商已敷设的城域网中光纤资源已经非常有限。如果通过升级原有城域网中 SDH 设备来扩容网络容量，会存在以下两个问题。第

一：SDH设备最多只能到10G速率，这是电信号处理的极限能力；第二：成本比较高，原有的设备将被淘汰。同时由于城域网距离短，各种接入方式比较复杂，如果采用用于长途传输的DWDM进行扩容，也会带来成本上的大幅度提高，并且DWDM不能提供2.5G以下的接口，不能适合城域网复杂的各种接入方式。

为了节约成本，提高城域网光纤的利用率，近来人们提出的CWDM（粗波分复用）技术无疑是一种很好的解决方法。CWDM也是一种波分复用技术，通过利用光复用器将在不同光纤中传输的波长复用到一根光纤中传输；在链路的接收端，利用解复用器再将波长恢复为原来的波长。相对于DWDM来说它复用波长之间间隔比较宽，为20nm；最多可复用8个波。因此CWDM对激光器、复用/解复用器的要求大大降低，同时在不需要放大器的情况下可以传输50~80km，采用这种方式对城域网进行扩容级大的减少了扩容成本。并且CWDM可以采用光分插复用（OADM）设备构建双纤双向环，实现双向光通道保护。

CWDM通过波长转换器（OTU）实现与客户端设备（如SDH设备、以太网交换机和路由器等）的适配和互联互通，使城域网中的多种协议、多种速率业务同时共存。CWDM可提供多种速率接口包括100M以太网、千兆以太网、SDH、IP POS等接口，可广泛传送多种数据业务。

## 城域网中应用波分复用技术辨析

**摘要：**详细探讨了波分复用技术给城域网带来的好处以及它的技术进展，并介绍了粗波分复用CWDM技术的进展。

**关键词：**波分复用 CWDM DWDM 城域网 多业务 宽带 协议

在城域网的光传送层上是否应用波分复用技术（WDM）是个颇有争议的话题。波分技术出现的初衷是为了在同一光纤上复用多个光通道，提高光纤使用率，减少铺设光纤的成本。因此它在长途光传送网中已广泛使用，并大幅降低了建网成本。而在城域网里运营商拥有相对丰富的光纤资源，面对的网络结构也要复杂得多，需要支持的业务种类也丰富得多，因此很长时间以来，波分技术无论从成本上还是技术上讲都没有充分的准备好。但是有两点趋势是肯定的，一是城域网将向光互联方向发展，为满足大量的带宽需求，波分复用终将被用来提供光交换、传输的功能；二是为了适应业务多样化和满足更方便灵活的运营需求，波分复用平台必须支持多协议的无缝承载并将向智能化方向发展。目前，波分复用的成本正在不断下降并且功能也逐步完善，CWDM技术（Coarse wavelength-division multiplexing，粗波分复用）的出现又提供了一种低成本的选择。另外数字封包技术的成熟，使波分技术能够直接承载所有上层协议，简化了网络结构，

这一切都为波分技术在城域网中的应用铺平了道路。但是由于 IT 市场的整体下滑和竞争加剧而使运营商更加关注成本和赢利的问题，是否在城域网中使用波分复用，就必须说明以下这些问题。

### 一 波分复用技术能带来些什么？

现在波分复用技术主要还是应用在点对点流量很大的场合，在运营商和一些大型企业网络上有所应用。但是波分复用技术种种新发展都随时得到关注，它能带来些什么？它的优势还远不是带宽的扩展这么简单。在城域网中使用波分复用技术有几个重要的推动因素：

1. 可以降低传输网络的升级成本。虽然全球电信环境形势不佳，但是在城域网内，廉价的以太网获得了高速的发展，带动了带宽的需求，对于各种增值业务和网络应用的需求也增强了这个趋势。运营商仍需要不断地增加他们的网络带宽。在城域网内，业务的发展有时是很难预测的，这给规划和建设网络造成了很大的困难。波分复用是一种重叠模型的网络，也是容量和业务可灵活升级的保证，例如可以在有业务需求的地方在一个波长上增加千兆网，而不是升级一个 SDH 环，或者占用新的光纤。而常见的 SDH 环必须对环上所有节点升级，成本很高。用波分技术则可以只在已有的网络上增加新的容量、协议或业务，不改变现有网络的结构，不会影响现有的业务，实现逐步升级。

2. 提供新的带宽粒度和新的业务。无论 PDH 的 E1、E3 和 SDH 的 STM-1/4/16，在标准带宽之间有很大的空隙，而波分复用可以提供非标准的带宽，这无疑是个能够满足更多用户需求的特性。另外还可提供透明的光通道来增加新的业务能力，例如千兆以太网、存储网络协议 Escon、Ficon 和 Fibre Channel 等等。这种融合新业务的能力对于城域网的环境来说极具吸引力，尤其是考虑到现有网络如 SDH 网上很难再承载 GE、Escon、Ficon 和 Fibre Channel 等高带宽的业务。

3. 简化网络结构，降低设备成本。数字封包协议 G.709 可以很好地支持不同协议，从而避免使用多次封装的复杂的协议栈。在统一的光传送平台上，实现多协议系统的网管和调度。另外应用各种复合功能的设备可以节约资源和成本，例如将分插复用和交叉功能结合在一起的设备，节省了节点机房的空間并降低网管系统的复杂性。又如将波分复用功能集成到以太网交换机中，波长的交换由 Ethernet MAC 地址来控制，这样可以简化网络设计，还省去了从千兆交换机到波分复用设备的昂贵的波长转换器。可以预见，这样的复合设备会出现得更多，以适应不同的业务需求。

4. 节约光纤。对于老运营商来说，城域网内光纤资源比较丰富，但也会在部分繁华地区出现资源紧张的情形。而新运营商更是希望充分利用来之不易的光纤资源。采用波分复用技术除了解决光纤资源的问题外，还可以提供波长出租业务，这可能会是未来常用的资源出租型业务的模式。

5. 智能化光网络。在近一年中新一代的波分复用技术不能仅提供多波长容量，还必须在光层上增加更多功能，比如智能交换和路由。实现快速、灵活的业务调度，还必须满足日益复杂的运营支撑系统（OSS）的要求。

波分复用将使城域光传输网可以灵活地提供带宽，可以灵活地支持业务，还可以智能、高效地完成业务调度和交换，达到下一代光互联网要求。值得注意的是运营商对于波分复用技术最关心的问题已经不是节约光纤，这本来是波分复用技术的市场基础，而是集中在业务、带宽和多协议能力这些方面，毕竟怎样

有效地提供业务才是最重要的问题。局域网互联、波长业务、VPN、批发业务、专线业务、远距离存储业务、专用视频图像服务等都适合由波分复用技术来提供。智能光网络还支持光 VPN，这是一个新的利润增长点。在光层将网络逻辑划分成专用网后提供给其他运营商和主要的企业用户使用。在边缘层按业务等级将企业用户的业务复用起来，可以提供灵活的带宽策略，更及时、快速地提供业务。

## 二 波分复用技术准备好了吗？

波分复用技术发展很快，在过去的 2~3 年已经可以达到 64 个波长，每个波长可承载的速率增加到 10Gbit/s，最大容量已经达到 640Gbit/s。可以支持环形、星形、网状网等拓扑结构，可传送距离也已经增加，支持大环结构成为可能。CWDM 技术的出现也提供了低成本的方案，这在下文中将会详细解释。另外 WDM 也已经支持智能化 MSPP（多业务支持平台），这已经是一个关键产品属性，它支持可管理的光波长层，广泛支持已有的和将出现的客户业务和技术，为全光网的发展提供一个全新的阶段性基础。

数字封包（Digital Wrapper）技术也获得了广泛的支持。它在波长上提供成帧的光通道，将客户信号封装到数字封包中，并保持了透明传送。ITU-T 于 2001 年已经统一修改了数字封包的一些光传送网络标准，包括 G. 709 和 G. 959. 1，定义了接口帧格式和物理层接口。G. 709 保留了 SDH 帧结构定义中的许多重要思想，提供三个方面重要的功能：

1. 提供多样的底层传输检测功能，例如错误检测、性能监测和前向纠错。例如利用 FEC（前向纠错编码）可以增加光放段距离。

2. 提供复用的管理通道来支持维护功能，例如网络保护功能和端到端的光波长管理，以及使用与 SDH 相同的性能参数、误码秒和严重误码秒等来度量网络性能，甚至对于以太网的业务口也采用同样的性能参数。

3. 使光层比特流可以被高层协议解释处理。例如，多个协议的数据流可以复用到同一个波分复用的波长当中。采用数字封包技术的结果是波长成帧机制可以支持传送所有其它主要的低层协议，尤其是 SDH、GE、ATM、Fibre Channel 和 GFP 等。然而也有的设备制造商认为不需要数字封包功能，他们的理由是数字封包技术增加了映射的复杂和成本。他们认为可以使用诸如副载波技术来传送管理字节，不会影响有效负荷的波长带宽。

还可以按照传送波长的协议方式将 WDM 系统分为单协议和多协议系统。单协议系统支持在每个波长上传送单一协议。它们支持多协议的方式是在多个波长上传送多个协议，好处是可以提供更高级别的复用。例如可以在一个波长上同时传送 2 路 GE 或者多个 STM-1。波长交换可以通过 OEO（光电光交换），而不是全光交换，这主要是成本上具有优势。多协议系统则可以在一个波长上面支持多个协议同时传送，这是使用了光频分复用技术。这个好处是在流量管理方面做许多有趣的事情（流量整形等等），但是系统更复杂。

从上面这些发展来看，WDM 技术为了在更广泛的领域中得到应用，确实取得了很实际的进展，但是还有很多问题并未妥善解决，还处在一个不断摸索的阶段。

### 三 在城域网中应该使用 CWDM 技术吗？

另一个争议的主题聚焦在 CWDM 技术上。波分复用技术在城域网里有两种主要形式：粗波分复用 (CWDM) 和密集波分复用 (DWDM)。密集波分复用在一個光纤传送窗口中集成了更多的光通道，它们都与协议无关，可以透明传送各种协议。与 DWDM 相比，CWDM 似乎更适合在城域和接入网中使用。现在 CWDM 取得了很大的进展：

- 在 2002 年 5 月通过了 ITU-T 波长的划分标准 G. 694. 2，规定从 1270nm 到 1610nm 中间使用 18 个波长，典型的波长间隔是 20nm（而 DWDM 的典型波长间隔是 0. 8nm）。这样由于噪声容忍度提高，对于光器件的要求可以降低，因而可以使用最便宜不需要冷却的激光器。而以前的波长间隔是厂家自己定义的，而且多数系统限制在 8 个波长。

- 增益平坦放大器的实现困难。CWDM 系统以前没有可用的放大器，只能工作在 20 到 30 公里的短距离，这是因为制造能够在宽传输窗口（包括 C 波段、L 波段和 S 波段）提供平坦增益的放大器十分困难。现在支持更长距离的 CWDM 带放大器系统已经出现，使 CWDM 在城域网中的应用前景看好。

- 每波长支持的比特率已经增长到 10Gbit/s，能适应城域网的新发展。

低功耗可以使线路板设计简单而且制造过程也更容易，因此 CWDM 的每通道成本大致是 DWDM 的三分之一。目前各运营商对现金支出控制都很严，这点也变得十分重要。于是 CWDM 得到了更多的重视，加快了应用和标准化的速度。

但是现在 CWDM 要想实用化，还有很多问题需要研究。虽然 CWDM 已经出现 2 年多了，但是 ITU-T 的标准工作只完成了一半。未完成的部分例如 CWDM 的应用方式，如组环方式。标准中规范 CWDM 光放段距离的部分仍需推敲，这部分没有完成则产品不能互通，将大大影响用户的信心。据说将要用 1 年来完成这个规范，因为有几个提议等待着研究，意见也相左。比如有人认为在城域网应用中，数据容量需求较低，光纤平均距离小于 50 公里，但是有些设备商已经在试验超过 125 公里的光纤上通过 CWDM 通道来传送千兆以太网。除距离问题之外，还有其它技术难题，例如如何使 CWDM 和 DWDM 混合传输。再有怎样规范零水峰光纤可以保证 CWDM 在光纤的全波段使用（在光纤低损耗窗口中有一段高损耗区，是由于 OH<sup>-</sup>造成的，称水峰）。

城域 CWDM 技术正期待被更多的用户接受，包括运营商、有线电视运营商和企业等。他们的态度是决定 CWDM 未来的关键。现在已经有很多 DWDM 和 CWDM 混合使用的案例。CWDM 则更多地出现在城域网接入层，作为 DWDM 核心网络的延伸，这是因为在接入层成本因素更为重要。

### 四 波分复用技术还会有什么发展？

虽然 CWDM 获得了越来越多的关注，但是由于它还不成熟，业界仍然将主要精力集中在 DWDM 上。DWDM 还有许多新的发展方向：

- 在无放大器的情况下支持更长的距离。这是依靠使用改进的编码方式和相位调制方式提高整个系统的噪声容限，从而不使用常规的 C 波段放大器，不仅可以节省成本，还由于器件的减少而提高了系统的可

靠性。

- 可以支持 MSPP 功能，将 DWDM 作为实现 MSPP 的基础，可以利用波长交叉来提供更多的功能。例如可以实现业务的会聚和整形。

- 可以集成 Ethernet。Ethernet 应用越来越广泛，成为支持多种业务的基础，尤其以太网接口速率 10Gbit/s 标准已经完成，预计在城域核心网中也会大量采用。核心网络带宽面临更大的突破，将 DWDM 和以太网集成在一起便显得愈发重要，可以降低整个系统成本和开发更多的功能。

DWDM 的开发工作重点已经不再是提高波长密度，32 波在城域似乎已经足够，而是更小的成本和功耗。现在还有许多问题需要解决，例如如何实现光波长监测，及系统本身的监测。监测光系统的运行质量是十分关键的，可以早期预警系统的问题，使得运营商可以提前修复故障，提高运营质量。再者，如何支持 SLA 业务等级，毋庸置疑，这已经变得很重要。虽然有很多实现的方案，但是在哪个层次来实现，怎样实现一直没有定论。第三如何实现高可靠性，不仅要减少设备的故障，还要提供快速恢复和保护交换，尤其在光纤故障时。还需要利用环回或相似的功能来界定故障的位置。第四怎样保证业务灵活性和可维护。运营商需要快速、方便地提供各种业务，同时减少现场维护和调度业务的成本和备品备件的成本。第五如何实现光层的管理。运营商需要光层的管理平台，系统怎样管理和通道怎样实现都需探讨。第六怎样方便地升级。升级的方法要简单，不中断业务。

城域波分技术在未来几年将要成为主流技术，虽然现在还有很多不成熟的地方。可以说波分复用技术的卖点集中在多业务、光纤、带宽和多协议能力。但是高成本、对于高带宽业务需求不足、其它可替代技术、不成熟和光纤过剩等也是阻碍它的因素。现在说何时应当在城域中使用波分复用技术并不简单，在使用更多的光纤和使用波分复用技术之间，运营商将会面临选择。近期来说，行业不景气造成各运营商投资新设备都比较谨慎，怎样有效地提供业务才是他们的最终目标。