

"十五"国家重点图书出版规划项目: 光通信技术丛书

光传送网设备

GUANGCHUANSONGWANG SHEBEI

编著 任海兰



北京邮电大学出版社
<http://www.buptpress.com>

“十五”国家重点图书出版规划项目：光通信技术丛书

光 传 送 网 设 备

编著 任海兰

北京邮电大学出版社

·北 京·

内 容 简 介

全光通信网可以取消电子交换的瓶颈、实现大容量的信号传输与交换,是人们所追求的光纤通信的理想目标。在现有多波长 DWDM 传输的基础上,发展以波长交换和选路为基础的光传送网技术,是走向全光通信网的必由之路,也是目前通信网络升级的首选方案,因而成为光通信领域倍受关注的热点之一。

本书从介绍光传送网的特点及发展趋势入手,全面介绍了光传送网设备的相关技术,内容包括 OADM、OXC 节点在网络中的功能;光传送网各层网络(OCh、OMS、OTS)设备功能的描述;光节点关键技术(可调谐器件、波长变换、全光再生、信道串扰、功率均衡等)的最新进展;光传送网设备的管理;光传送网设备的监测等。

本书参考了 ITU-T 相关的最新建议,并系统收集了目前国内外关于光传送网的研究资料,全书层次清晰、内容新颖,有较强的系统性和实用性。本书可供具备一定通信知识的专业技术人员和工程人员阅读,也适合于系统学习现代光网络前沿技术的大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

光传送网设备/任海兰编著. —北京:北京邮电大学

出版社,2003

ISBN 7-5635-0850-3

I. 光... II. 任... III. 光纤通信—数字传输系统
—通信设备 IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 117831 号

书 名: 光传送网设备

编 著: 任海兰

责任编辑: 方 瑜

出 版 者: 北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路 10 号) 邮编:100876

电话:(010)62282185(发行部) 传真:(010)62283578

www.buptpress.com E-mail:publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京通州皇家印刷厂印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 16

字 数: 395 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-0850-3/TN·320

定 价: 28.00 元

• 如有质量问题请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

序 言

“千里眼、顺风耳”是古代人们在神话故事中的憧憬和向往,“秀才不出门,能知天下事”是人们长期以来的一种美好愿望,在信息技术高度发达的今天,都已经变成了现实。

当你坐在计算机旁尽情浏览因特网上各种丰富多彩的文字、图像和声音信息时,有没有想过在 10 年前,如果你想得到现在一分钟内得到的信息,需要花费千万倍的时间和难以估算的人力、物力和财力;当你用廉价方便的 IP 电话和远在大洋彼岸的亲朋好友侃侃而谈的时候,有没有想到在 20 世纪 70 年代之前,就是打一个长途电话,也要到电信局等候几个小时甚至整天的情景;曾几何时,“大哥大”还是有钱人或有权人的象征,而今天,手机已成为普通百姓的日常生活用品。这一切,都得益于通信技术的飞速进步与发展,也是社会进步的象征。

我常说,学通信的人很累。的确,通信技术的发展太快了,新概念、新技术、新设备层出不穷,通信网所提供的业务日新月异,真有一种一天不学就要落后,就要被新技术淘汰出局的感觉。我想,一定有许多读者与我有同感。

通信网一般由交换与传输两大部分组成。传输的技术有许多种,各有千秋。然而光传送技术因其无可比拟的众多优点,在各种传输技术中独占鳌头。当今世界信息量的 80% 以上是通过光传送网络进行传送的。因此,光通信技术成为人们非常关注的一种通信技术。

武汉邮电科学研究院(烽火科技产业集团)是我国最早从事光通信技术研究开发的单位,是国家光纤通信技术工程研究中心;国家光电子工艺研究中心(武汉分部);国家高技术研究发展计划成果产业化基地;信息产业部光通信产品质量监督检验中心;亚太电信组织光通信培训中心。集

光纤光缆、光电子/光器件、光通信系统设备技术与一身(迄今国内唯一的一家)。从“六五”开始,承担了国家科技攻关项目和国家“八六三”高技术研究发展计划项目近百项,产品转化率在90%以上。在武汉邮电科学研究院诞生了一个又一个光通信技术成果的国内首创;烽火人在国内光通信项目的研究上取得了一个又一个零的突破。在武汉邮电科学研究院造就有一支攻克光通信技术难关的骨干队伍;锻炼出了一大批光通信技术方面的专家。

为了使读者能对光通信技术有一个全面的了解,我们组织武汉邮电科学研究院的一批科技骨干编写了这一套介绍光通信技术的丛书。该丛书既包括了目前光通信技术发展的热点,又反映了当前光通信技术在这些方面发展的前沿。我们将这套丛书献给奋战在光通信界的朋友们和愿意献身光通信事业的读者,目的是使更多的读者和我们一起,掌握光纤通信的最新技术,致力于发展我国的民族光通信产业,使我国的民族光通信产业在国际上占有一席之地。

只有民族的,才是世界的。

毛 谦

2001年10月

前言

光传送网(OTN)技术是 20 世纪 90 年代后期出现的基于光层的传送网技术,它是光纤通信系统在大容量传输的基础上发展与之相适应的大容量交换技术的必然产物。由于光传送网具有大容量、易于管理、灵活性和透明性等一系列显著优势,已成为宽带通信网的发展方向。

1998 年以来,国际电信联盟(ITU)有关 OTN 技术的一系列标准化建议陆续出台,这些建议涉及网络节点接口、网络抖动和漂移性能、设备功能的规范描述、网络管理、网络监视等诸多方面,为 OTN 技术推向应用奠定了基础,也对 OTN 技术的发展起到了积极的推动作用。

本书以 ITU-T 关于光传送网技术的建议为基础,以 1998 年后出现的国内外大量文献为参考,着重讨论了光传送网设备的功能以及光传送网设备推向应用时涉及到的诸多问题。全书共分 8 章。第 1 章在简述通信网发展历程的基础上,明确了与光传送网相关的几个概念,指出了在现有大容量 DWDM 传输的基础上发展 OTN 技术是光网络演进的必然趋势。第 2 章对光传送网节点设备进行了介绍,由于节点技术是 OTN 技术的基础,而不同结构的节点其性能会有差别,本章在介绍节点设备功能的基础上,对于不同的节点设备实现方案的特性和对网络性能的影响进行了分析。

第 3 章重点介绍光传送网设备规范描述的基本框架,包括网络分层与分割的概念、原子功能描述语言的基本特点和基本描述方法。由于光传送网是一个巨大的复杂的网络,本章作为后续内容的铺垫,为进一步对光传送网设备功能进行规范、简捷、清晰的描述打下基础。本书对 OTN 不同层网络的设备功能进行了详细论述,内容包括:原子功能

的流程、参考点输入输出的信息流、原子功能涉及到的处理过程和信号质量监视过程、以及进行缺陷关联以给出故障原因的判决等,为读者理解光传送网设备功能打下基础。光传送网可分为光传输段(OTS)层、光复用段(OMS)层和光通道(OCh)层,在简化的分层结构中,把光传输段层、光复用段层合为光物理段(OPS)层,而对于光通道层,为方便业务的接纳,又分为光通道子层(OCh)、光通道传送单元子层(OTU)和光通道数据单元子层(ODU)。本书将光段层(包括光传输段、光复用段和光物理段)的设备功能放在一起,作为本书的第4章。将光通道的子层(包括光通道、光通道传送单元和光通道数据单元)的设备功能描述另列一章,作为本书的第5章。这样安排,以期达到全书层次清晰的目的。

由于发展光传送网技术的核心是要发展光节点技术,而光节点技术的发展又依赖于一些关键的光器件技术,如光开关、可调谐器件(包括可调谐激光器和可调谐滤波器)、波长变换器、全光再生器等,此外,由于大量信号波长要在光节点进行汇集处理,因此光节点还要考虑信道串扰问题、功率均衡问题等,第6章对这些关键技术的实现方式和技术最新进展进行了综合介绍。第7章在讨论光传送网的管理的基础上,讨论光传送网设备的管理,包括设备的管理需求和管理的实现方式等。本书的最后一章讨论了与光传送网运行和维护相关的光监测问题,包括性能监测和设备监测两方面内容。

本书是在ITU-T组织成员、武汉邮电科学研究院副院长兼总工程师毛谦老师的指导下编写的。毛总在百忙之中,对于本书从选题、到内容和结构的确定,再到全书的审阅和修改,都提出了许多建设性的宝贵意见,倾注了大量的心血。在编写过程中,作者还得到了武汉邮电科学研究院烽火科技学院李勇院长、武汉邮电科学研究院烽火科技学院多位同仁的鼎力支持和无私帮助,在本书完成之际,谨向所有给予作者关心、爱护和支持的朋友们致以由衷的谢意。

由于作者水平有限,对于发展中的光传送网技术的理解欠全面深入,书中难免有诸多遗憾和谬误之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2004年5月于武汉

目 录

第1章 光传送网概述

1.1 通信网的发展	1
1.2 光传送网概念的提出	2
1.2.1 光传送网的概念	2
1.2.2 光传送网的特点	3
1.2.3 光传送网与通信网	3

第2章 光传送网节点设备

2.1 基于光波长交换的光传送网	6
2.1.1 DWDM 传输的局限性	6
2.1.2 DWDM 光联网的演进	7
2.2 OADM 的节点功能	8
2.2.1 OADM 实现的功能	8
2.2.2 OADM 节点的组成	9
2.3 OXC 的节点功能	9
2.3.1 OXC 实现的功能	9
2.3.2 OXC 节点的组成	10
2.4 OADM 节点结构及实现方案	11
2.5 OXC 节点结构及实现方案	13
2.5.1 OXC 功能要求	14
2.5.2 OXC 的结构	15

第3章 光传送网设备的规范描述

3.1 分层与分割	19
3.1.1 建立分层的概念	19
3.1.2 建立分割的概念	20
3.2 设备规范方法及其演变	21
3.2.1 基本功能块描述方法	21

3.2.2 原子功能描述方法	21
3.3 OTN 设备原子功能描述的规范方法	23
3.3.1 网络结构元件	23
3.3.2 层网络的原子功能	26
3.4 OTN 层网络的原子功能及相关关系	29
3.4.1 层网络原子功能相关关系	29
3.4.2 OTN 层网络的原子功能	31
3.4.3 OTN 层网络的通信通道开销	32
3.5 设备的监控过程和管理信息流	34
3.5.1 监控过程描述	34
3.5.2 监控过程相关处理	34
3.6 OTN 专用监视功能	39
3.6.1 OTN 的缺陷	39
3.6.2 性能过滤	45
3.7 OTN 专用处理过程	46
3.7.1 非光处理过程	46
3.7.2 光信号处理过程	50

第 4 章 光段层设备功能描述

4.1 光传输段层功能	52
4.1.1 终端功能	52
4.1.2 适配功能	57
4.2 光复用段层功能	59
4.2.1 终端功能	61
4.2.2 适配功能	64
4.2.3 子层功能	67
4.3 光物理段层功能	71
4.3.1 终端功能	72
4.3.2 适配功能	73

第 5 章 光通道子层设备功能描述

5.1 光通道子层功能	77
5.1.1 连接功能	78
5.1.2 终端功能	80
5.1.3 适配功能	85
5.2 光通道传送单元子层功能	95
5.2.1 终端功能	96
5.2.2 适配功能	104

5.3 光通道数据单元子层功能	112
5.3.1 连接功能	114
5.3.2 终端功能	117
5.3.3 适配功能	121
5.3.4 COMMS 功能	143
5.3.5 子层功能	150
第 6 章 光传送网节点关键技术	
6.1 可调谐激光器技术	165
6.1.1 分布布拉格反射激光器	165
6.1.2 分布反馈式激光器	166
6.1.3 外腔激光器	166
6.1.4 垂直腔表面发射激光器	167
6.2 可调谐光滤波器技术	167
6.2.1 F-P 腔型光滤波器	167
6.2.2 马赫-曾德尔干涉型光滤波器	169
6.2.3 基于光栅的光滤波器	170
6.3 波长转换技术	171
6.3.1 基于 SOA 的 XGM 和 XPM	171
6.3.2 非线性光学环形镜	173
6.3.3 基于 FWM 现象	174
6.3.4 基于吸收调制效应	175
6.3.5 基于注入锁定半导体激光器	176
6.3.6 基于光纤光栅外腔激光器	176
6.4 全光再生技术	177
6.4.1 光时钟恢复技术	177
6.4.2 光判决门技术	179
6.5 光开关技术	181
6.5.1 波导型光开关	181
6.5.2 MEMS 机械光开关	182
6.5.3 液晶光开关	183
6.5.4 气泡开关	184
6.5.5 光栅开关	184
6.6 信道串扰问题	185
6.6.1 器件与串扰	185
6.6.2 系统中的串扰分析	187
6.7 功率均衡与功率管理技术	189
6.7.1 用光衰减器实现功率均衡	189
6.7.2 用 SOA 实现功率均衡	190
6.7.3 分级功率均衡方案	191

6.7.4 瞬态功率控制和均衡	192
第7章 光传送网设备的管理	
7.1 电信管理网概述	194
7.1.1 电信管理网的特点	194
7.1.2 TMN的结构	195
7.1.3 TMN的功能	199
7.2 OTN管理网络的体系结构	200
7.2.1 OTN的管理需求	200
7.2.2 OTN管理网络组织模型	201
7.2.3 OMN,OMSN和TMN的关系	202
7.2.4 光管理子网	203
7.3 OTN设备的管理要求	205
7.3.1 OTN设备管理的内容	206
7.3.2 设备管理与网络管理的关系	207
7.4 OTN设备的管理方法	208
7.4.1 OTN设备的技术域	208
7.4.2 OTN设备管理的实现方式	209
7.4.3 日期和时间功能	210
第8章 光传送网设备的监测	
8.1 OTN的光监测	213
8.1.1 光监测的基本思想	213
8.1.2 光信号质量的评价	214
8.1.3 现阶段光监测的实施	215
8.2 OTN性能监测	217
8.2.1 BIP字节法	218
8.2.2 准误码率监测法	218
8.2.3 抽样统计法	219
8.2.4 光信噪比监测法	220
8.3 OTN设备监测	221
8.3.1 OTN设备的监测内容	221
8.3.2 OTN设备的监测方法	222
缩略语	224
附录1 原子功能的监控相关处理一览表	233
附录2 原子功能的控制管理信息一览表	236
附录3 原子功能的性能管理信息一览表	240
参考文献	241

由于信息时代人们对信息的需求与日俱增,人们不断地利用各种技术开发光纤的带宽潜力。到 20 世纪 90 年代后期,基于多波长光传输的 DWDM 技术使光纤传输容量剧增,极大地满足了人们对大容量传输的迫切需求, DWDM 技术迅速得到了普遍的应用。然而,很快人们就不再满足于仅由光来实现传输容量的增加,还希望在光域完成信息的交换与选路功能,克服依赖电进行交换所造成的电子瓶颈,“光传送网”的概念就是在这—基础上提出的,即以光为信息载体,并在光层完成信息的传输与交换的网络。光传送网的概念一经提出,即成为通信领域的热点,ITU-T 有关光传送网的一系列建议很快出台,世界一些发达国家都积极地投入相关关键技术的研究,并以设备的开发为突破口,来推进光传送网的商用化进程。光传送网已被认为是通信网向宽带、大容量发展的首选方案和现实步骤。

1.1 通信网的发展

现代通信经历了一百多年的发展历程,其起源可追溯至 19 世纪末,电报、电话、无线电三大发明标志着现代通信的诞生。通信进入人类生活后,极大地改变了人类的生活方式。

在相当长的一段时间内,通信都是以电作为信息载体,且传输的信息以语音信息为主。直至 20 世纪 70 年代初期,美国 Corning 公司拉制出了世界上第一根光纤,虽然当时光纤的损耗高达 20 dB/km,至少人们看到了以光作为信息传输载体的希望。到 70 年代后期,由于光纤制作工艺尤其是材料提纯技术的不断改进,光纤的吸收损耗大大降低,使光纤的损耗降至 5 dB 以下,与此同时,在室温下可连续工作的激光器也走向商用,为光纤通信提供了理想的光源,自此,光纤开始代替电缆进入通信网。

按照信息传送使用的载体,通信网络可粗略分为电通信网络、光电混合网络、全光网络 3 种。其中,电通信网络中信息的传输和处理都使用电作为信息载体;光电混合网络中对信息进行传输和处理时既用到光作为载体,也用到电作为载体;而全光网络中只使用光作为信息载体。

1. 电通信网络

电通信网络在电域完成信息的传输、交换、存储和处理等功能,传输媒质主要采用电缆(辅以微波、无线电波等无线方式),网络节点的信息交换采用电交换技术。但是,电通信网络的信道容量小,传输距离较短,节点的信息吞吐量小,信息在网络节点的时延较大,造成整个网络的信息容量有限。

2. 光电混合网络

由于以光纤作为传输媒质具有通信容量大、传输距离远等一系列显著优势,使得光纤通

信技术迅速发展,自 20 世纪 70 年代后期光缆代替电缆进入通信网后,电通信网络也随之成为新一代的通信网络——光电混合网络。在光电混合网络中,节点之间实现了光传输,使传输容量大大增加、传输距离大大延长,但网络节点的信息交换仍采用电交换技术,为了完成信息交换,网络的各个节点必须先将光信息转换为电信息,交换完成后,再将电信息恢复为光信息,送到线路上传输。由于电子器件本身处理速度的物理极限,信息的光/电/光转换速率受限,造成节点的信息吞吐量十分有限,信息在网络节点的时延较大,尤其是在多波长光传输技术使传输容量大大增加的情况下,电节点交换能力的滞后成为限制网络吞吐量的主要因素。

3. 全光网络

为了克服传统的电交换节点引入的“电子瓶颈”问题,人们开始考虑由光来承担一部分信息交换的任务,即发展光交换与选路技术,从而改变电交换不堪重负的现状,而除了交换与选路,如果能进一步采用其他的全光信息处理技术,如全光再生、全光波长转换,则网络的信息吞吐量可以进一步增加。在这种背景之下,人们提出了全光网络(AON, All-Optical Network)的概念。

全光网络是指信息流在整个网络中传输、交换时始终以光的形式存在,不需要经过光/电/光转换,即信息从源节点到目的节点的传输过程中始终在光域内,包括了光传输、光放大、光再生、光交换、光存储、光信号多路复接/分插、进网/出网等全光处理技术,使得信息处理过程完全摆脱对电处理的依赖。

1.2 光传送网概念的提出

随着信息时代的到来,尤其是互联网技术的发展,人们对通信容量的需求与日俱增。IP 业务在全球范围突飞猛进的发展,给传统电信业务带来巨大冲击的同时,也为电信网的发展提供了新的机遇。从当前信息技术发展的潮流来看,建设高速大容量的宽带综合业务网已成为现代信息技术发展的必然趋势,发达国家的网络业务将以数据业务为主。传统的网络无论是从业务量设计、容量、组网方式,还是从交换方式上来讲,都已无法适应这一新的发展趋势。开发新一代的可持续发展的网络已成为通信网络界的共同心愿,即开发具有统一通信协议和巨大传输容量的网络,能以最经济的成本、灵活可靠地支持一切已有和将有的业务和信号。显然,从作为基础的传送网角度看,只有在光传输的基础上发展光交换技术、从而实现光联网,才可能承担这样的重任。

1.2.1 光传送网的概念

ITU-T 提出的有关“光传送网”的概念,即是在现有全光传输的基础上,进一步发展光域内的交换/选路技术,实现基于光的传输和光的交换/选路的网络。ITU-T 在 G. 872 建议中定义光传送网为“一组可为客户层信号提供主要在光域上进行传送、复用、选路、监控和生存性处理的功能实体”,它能够支持各种上层技术,是适应公用通信网络演进的理想的基础传送网络。光传送网为用户提供端到端的高速光链路连接,因此,它具有后向兼容(SDH、ATM 和 PDH 等)和未来前向升级兼容(OTDM、OCDMA、光因特网等)的功能,与现有电

交换技术是完全互补和兼容的。

在发展光传送网的基础上形成的光电混合网络的组成如图 1.1 所示,由核心光传送网络和边缘网络组成。核心光传送网又由光传输系统和具有光交换/选路功能的光节点组成,光传输系统实现大传输容量,光节点完成信息在光域内的交换/选路。核心光传送网对信息不进行电处理,处理能力非常强,具有很大的吞吐量。边缘网络由电子节点进行电处理,并可利用光通道与光网络进行直接连接。然而,目前的光电混合网络仅由光传输系统和电子节点组成,光技术仅用于两个电子节点间的点对点传输,在每个电子节点中光信号都要转换成电信号进行电处理,电子节点处的光电转换设备处理负担过重,限制了网络节点的吞吐量。

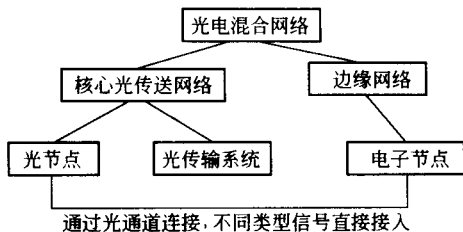


图 1.1 光电混合网络的组成

1.2.2 光传送网的特点

光传送网的概念一经提出,就引起人们极大的兴趣,各国投入大量的人力、物力进行研究和现场实验,ITU-T 也抓紧制定有关光传送网的一系列建议。虽然由于全光技术的局限性,在很长一段时期内,光传送网还将只作为电子层下的物理传送层,但与传统电信网相比,光传送网已实现了更大的通信容量,具备更强的可管理性、灵活性和透明性,因而成为普遍看好、很有发展前景的技术,是宽带通信网的发展方向。

光传送网的优点可概括如下:

(1) 光传送网除了提供巨大的传输容量以外,还实现了在光域的路由选择,极大地提高了节点的吞吐容量,能够适应未来高速宽带通信网的要求。

(2) 光传送网实现网络的适度透明性,即能在光传送网的透明子网范围内,对信号的传输码率、数据格式以及调制方式均具有透明性,允许互联任何系统和不同制式的信号,可以提供多种协议业务和不受限制的端到端业务。其中,透明性是指信号从源地址到目的地址的传输与交换全在光域中进行,信号速率与格式等仅受限于接收端和发射端。

(3) 光传送网具备持续可扩展性,添加新的网络节点和增加业务量时,不影响原有网络结构和设备,降低了网络成本,光传送网不仅支持现有的通信网,而且还支持未来的宽带综合网以及网络升级。

(4) 光传送网可根据通信业务量的变化或在出现故障时,动态地改变网络结构,进行快速网络保护恢复,使网络具有网络可重构性,可以充分利用网络资源,适应动态的网络环境需要。

(5) 光传送网具有光通道的保护能力,以保证网络传输的可靠性。为了提高传输效率,也可以简化或去掉 SDH 和 ATM 等有关网络保护的功能,避免各个层次的功能重复。

1.2.3 光传送网与通信网

光传送网在通信网中所处的层次如图 1.2 所示。最上层是应用层,提供数据、语音、图像等各种业务;电子层主要完成各种信息的电交换,可以是程控交换、ATM 交换或未来的

某种交换的形式；光传送网层是以光传输系统和光节点组成的可配置的光网络，其中的关键网元有光交插连接设备(OXC)、光分插复用设备(OADM)和基于光的星形路由设备(R)。

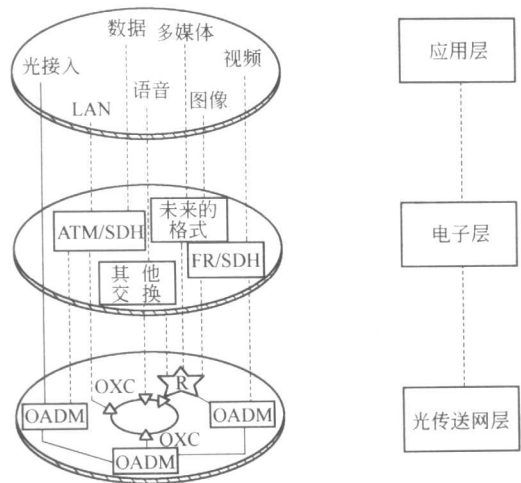


图 1.2 光传送网在通信网中所处的层次

虽然从光传送网的概念来看，希望能够实现对信息的全光处理和信号的“透明”传输，但由于目前全光技术尤其是光器件技术的局限性，如全光再生技术还很不成熟、光信息接入还有待发展等，目前能够以“全光”技术覆盖的网络范围还很有限，只能作的光传送网的“透明子网”部分，整个网络可看作是由高性能的光电转换设备连接众多的全光透明子网(地区网、城域网、小区网等)的集合。透明子网之间，还需借助光/电/光转换完成信号的 3R 再生(放大、整形、定时)功能，来消除光信号在传输过程中由于色散、噪声、非线性效应等积累的损伤；在透明子网边缘，需借助光/电/光转换完成客户信号到子网的接入；必要时还需借助光/电/光转换完成波长转换和区域间波长匹配的功能，以增加网络的重构性、灵活性和互通性，并进行网络维护、控制和管理。图 1.3 给出光传送网中光透明子网通过 O/E/O 转换相连的示意图。

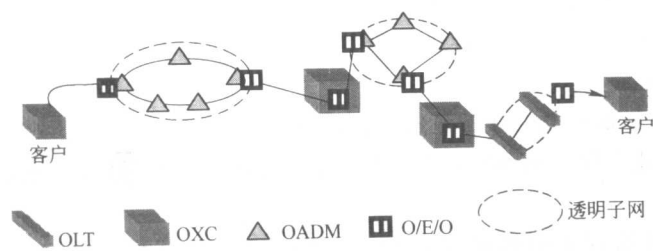


图 1.3 光透明子网通过 O/E/O 转换相连

正是由于在目前的技术水平下，信息的电处理对于扩大网络覆盖范围、提高通信网络的性能仍起着不可替代的作用，电信息处理技术作为光信息处理技术的“互补”角色，将在相当长的一段时间内与光信息处理共存，因此，通信网络将在相当长的一段时间内以光电混合网络的形式存在。

光传送网的发展趋势是逐步采用先进的光器件取代光电转换设备,逐步扩大透明子网的覆盖范围,最终实现全光网络的理想目标。只有在超大容量和超长距离光传输技术、全光波长变换、全光信号处理、大规模集成化全光交换器件(大型光开关阵列)、光标记交换等技术成熟后,真正意义上的全光网才可能实现。

DWDM 传输技术具有传输容量大的突出优势,可在原有线路基础上,经济、迅速地实现传输容量的急剧增加。经过近十年的发展,DWDM 技术已经取得了巨大的突破。目前,全球实际敷设的 DWDM 系统已经超过 5 000 个,商用的 DWDM 系统的传输速率已达到太比特每秒,如烽火和华为推出的 160×10 Gbit/s 系统;更高传输速率的系统正在走向商用,如 NEC 的 273×40 Gbit/s 系统传输速率达到 10.92 Tbit/s,Alcatel 的 256×42.7 Gbit/s 系统传输速率达到 10.2 Tbit/s。实验室的最高水平实现 1 022 个波长的多波长传输,单信道传输速率最高达到 163 Tbit/s。尽管 DWDM 技术发展迅速,但是,到目前为止,实用化的 DWDM 系统基本上是基于点到点的通信,信息交换还是基于电交换技术,使得电子瓶颈的矛盾大为突出。此外,大容量传输、电交换节点式的传送网络的生存性和安全性也存在问题。随着 DWDM 系统的广泛使用和技术的演进,人们发现 DWDM 技术在提高传输能力的同时,还具有无可比拟的联网优势。由于 DWDM 是基于波长复用的传输技术,因此,以波长路由为基础引入光波长交叉连接(OXC)和光波长分插复用(OADM)节点,建立具有高度灵活性和生存性的光网络,被认为是可行且有发展前途的方案。

2.1 基于光波长交换的光传送网

2.1.1 DWDM 传输的局限性

由于点到点的 DWDM 传输技术本身有很大的局限性,最大的局限性是没有组网能力,不能在光层为业务提供完善的保护机制,因此点到点的 DWDM 传输系统只是“光联网”的初级阶段。点到点 DWDM 系统要为业务提供有效的保护,只能采用线路保护的方式,即敷设备用线路来进行业务保护,但这种方式成本较高,并未获得普遍应用。目前,虽然也有将 DWDM 组成环网的情况,其实质仍然是由多个 DWDM 传输段组成,在每一个终端站,都是背靠背的 DWDM 设备,所以虽然形式上组成了环网,其本质仍是点到点的传输。为了对业务实行保护,普遍采用的仍是基于 SDH 层的保护,即由 SDH 的通道或复用段提供保护,保护倒换由电来完成,波分复用系统与保护倒换完全无关。

为了发挥 DWDM 技术的光联网优势,由光来承担起交换与选路的重任,在多波长光传输的基础上,引入光波长交叉连接和光波长分插复用节点来实现波长路由成为最为现实可行的方案。引入光交换节点技术之后,可为进入节点的高速信息流提供动态光域处理,仅将属于该节点及其子网的信息上下路并交由电交换设备继续处理,这样不但可以克服纯电子交换的容量瓶颈问题,而且可以大大增加网络重构的灵活性,从而在光域实现高速信息流的