

智能光网络 技术及应用

武文彦 主 编
董晔 杨永定 副主编

ZHINENG GUANGWANGLUO
JISHU JI YINGYONG



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

智能光网络技术的应用

		武文彦	主 编
	董 晔	杨永定	副主编
苑庆彬	黄卫国	张建朝	
王永强	都 明	孙冬华	参 编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

这是一本介绍智能光网络技术与应用的图书。本书以最新的国际标准和状况为基础,结合作者对智能光网络这一新技术的理解和在网络规划建设及运维中的经验,系统全面地介绍了智能光网络技术的基础知识、应用方法和建设规划原则。全书共 10 章,概述了光网络的发展和基础知识,介绍了新一代光网络的传输技术,从网络新业务的应用角度出发,介绍了智能光网络的生存性技术、新业务及服务等级支持等;从网络建设发展角度出发,较为详尽地介绍了智能光网络的规划原则和方法,介绍了传统光网络向智能光网络的演进策略。

本书注重新技术、新知识、新标准的应用,力求系统清晰、概念准确、简明扼要、突出重点、通俗易懂、注重实际,内容贴近通信网络实际和学院教学,可以作为相关专业工程建设、规划设计、运行维护人员的知识用书,也可作为光纤通信专业师生的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

智能光网络技术及应用/武文彦主编. —北京:电子工业出版社, 2011.3
ISBN 978-7-121-13032-8

I. ①智… II. ①武… III. ①光纤通信—通信网 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 033354 号

策划编辑: 窦 昊

责任编辑: 曲 昕

印 刷: 北京丰源印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18.5 字数: 449 千字

印 次: 2011 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 48.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

智能光网络代表了下一代光网络发展的方向,从 2000 年 3 月被国际电信联盟电信标准化部门 (ITU-T) 的 Q19/13 研究组正式提出后,在各界的共同推动下,以自动交换光网络 (ASON, Automatic Switched Optical Network) 为主流技术的传送网络拉开了智能光网络发展的序幕,掀起了一场传输领域的变革。在短短的几年内,智能光网络标准得到了不断完善,产品得到了快速发展并规模应用。

ASON 技术与传统光传输网络技术结合后,传统概念的多层复杂网络结构变得简单和扁平化,光网络层开始直接承载业务,避免了传统网络中业务升级时受到的多重限制,满足了用户对资源动态分配、高效保护恢复能力,以及波长应用新业务等方面的需求。目前 ASON 的概念和思想已经扩展应用于不同的传送网技术,并具有普遍的适应性。在我国智能光网络的推广应用中,无论是基于 ASON 功能的 OTN 技术,还是基于 ASON 功能的 SDH 技术,ASON 网络功能使传统的传输技术均具备了智能的特性。因此,可以说 ASON 的概念不仅是传统传送网概念的历史性变革,也是传送网技术的一次重大突破。在未来的传输网络中,骨干网络将被 OTN/ASON 技术所垄断,城域网络中的 SDH 将被多业务传输平台 MSTP/ASON 所替代,这已成发展之必然。

在智能光网络建设和发展中,网络的规划和业务应用既是重点又是难点。随着传送网络的发展,高的网络生存性能、多种业务服务等级提供能力和服务质量已经成为当前网络,特别是下一代智能光网络的发展规划和运行维护中所关注的重要内容。高效、灵活的保护和恢复策略已成为新一代光网络必须具备的重要特征。在传统网络向智能光网络演进的今天,设备技术体制的进步导致用户在业务需求及应用方式等方面发生了极大的转变。多种业务服务等级 SLA 的确定和建立,为用户提供不同优先级和经济有效的保护恢复机制等功能,为下一代光网络的 QoS 提供了有利支撑。因此掌握智能光网络技术的基础,研究智能光网络的规划和应用特点,是我们进一步搞好网络建设和网络运维工作应该具备的知识。

本书以最新的国际标准和状况为基础,结合编者对智能光网络这一新技术的理解和在网络规划建设及运维中的经验,系统而全面地介绍了智能光网络技术的基本知识,重点介绍了智能光网络对新业务应用的支持、网络建设规划方法和演进策略等主要内容。全书共 10 章,第 1、2 章概述了光网络的发展和演进过程,介绍了数据通信基础;第 3~5 章全面系统地介绍了新一代光网络的传输技术 (ASON、OTN、MSTP);第 6 章介绍了智能光网络的网管系统;第 7、8 章则从智能光网络新业务的应用角度出发,较为详尽地介绍了智能光网络的生存性技术、智能光网络新业务及服务等级支持等;第 9、10 章从智能光网络的建设发展角度出发,介绍了智能光网络的规划原则和方法,介绍了传统光网络向智能光网络的演进策略。

本书由武文彦主编,董晔、杨永定为副主编,武文彦、张建朝编写了第 1、2 章;董晔、黄卫国编写了第 3、4 章;武文彦、杨永定、苑庆彬编写了第 5、7、8 章,王永强、

孙冬华编写了第 6 章，武文彦、都明编写了第 9、10 章。武文彦负责全书统稿并编写了前言。在本书编写过程中，引用了一些已经公开发表或尚未发表的资料，在此对其作者表示感谢。此外，在本书的编写过程中得到了张宁研究员的指导和支持，得到了邓立杰、宋磊、朱海、杨洪卫和孙斌等同志的帮助，研究生李智楠和张丽帮助整理了部分插图，在此谨向他们表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，加上智能光网络又是一项正在发展中的新技术，书中难免出现疏漏和错误，敬请同行和读者批评指正。

编 者

2010 年 9 月 19 日

目 录

第 1 章 光纤通信发展及演进	1
1.1 光纤通信发展过程	1
1.1.1 光波分复用 (WDM) 技术	1
1.1.2 同步数字序列 (SDH)	4
1.2 传统网络的限制	5
1.2.1 网络结构的限制	5
1.2.2 通路组织的限制	5
1.2.3 业务模式的限制	5
1.3 智能光网络的定义及功能	5
1.3.1 智能光网络的定义	5
1.3.2 智能光网络的主要功能	6
1.4 智能光网络的产生及演进	7
1.4.1 智能光网络的发展过程	7
1.4.2 目前智能光网络的局限性	9
第 2 章 数据通信基础	10
2.1 数据通信概述	10
2.1.1 数据通信的特点	10
2.1.2 分组技术	11
2.1.3 网络的分层模型	12
2.1.4 对等层通信	16
2.2 VPN	17
2.2.1 VPN 的分类	17
2.2.2 隧道技术	18
2.3 ATM	19
2.3.1 ATM 概述	19
2.3.2 ATM 支持的业务类型	21
2.3.3 ATM 的分层结构	22
2.3.4 ATM 的交叉连接与交换功能	23
2.3.5 ATM 的 VP 保护	24
2.4 MPLS	25
2.4.1 MPLS 概述	25
2.4.2 MPLS 基本概念	25
2.4.3 MPLS 路由选择与路由协议	27

2.4.4 MPLS 信令协议	28
2.4.5 MPLS 的流量工程 TE	31
第 3 章 自动交换光网络 (ASON)	34
3.1 ASON 的定义及主要特点	34
3.1.1 ASON 的定义	34
3.1.2 ASON 的特点	34
3.2 ASON 标准体系	35
3.2.1 ASON 标准化组织	35
3.2.2 ASON 相关标准进程	36
3.3 ASON 的体系结构	39
3.3.1 ASON 的三个平面	39
3.3.2 ASON 的应用模型	40
3.3.3 ASON 的相关接口	40
3.3.4 ASON 的网络结构	41
3.3.5 ASON 的栅格网络	42
3.4 传送平面	44
3.4.1 概述	44
3.4.2 OEO 方式	45
3.4.3 应用模式	45
3.5 控制平面	46
3.5.1 控制域	46
3.5.2 控制平面接口	46
3.5.3 控制平面结构	49
3.5.4 控制平面技术	52
3.6 管理平面	54
3.6.1 管理平面的分层结构	54
3.6.2 网元管理层的管理要求	55
3.6.3 网络管理层的管理要求	56
3.6.4 与控制平面相关的管理要求	58
3.6.5 ASON 管理的特定要求	61
3.7 自动发现技术	62
3.7.1 自动发现技术概述	62
3.7.2 自动发现功能	63
3.7.3 自动发现结构与进程	64
3.7.4 链路管理协议 (LMP)	66
3.8 路由技术	72
3.8.1 ASON 路由的作用与要求	72
3.8.2 ASON 的路由体系结构	73
3.8.3 ASON 的路由功能	75

3.8.4	域内路由协议 GMPLS OSPF-TE	79
3.8.5	域内路由协议 DDRP	90
3.8.6	运营商网络间路由协议	93
3.9	信令技术	94
3.9.1	信令的作用	94
3.9.2	自动呼叫与连接	94
3.9.3	分布式呼叫与连接管理 DCM	97
3.9.4	ASON 信令协议要求及种类	101
3.9.5	GMPLS RSVP-TE 协议	102
3.9.6	GMPLS CR-LDP 协议	109
3.9.7	信令通信网 SCN	112
第 4 章	光传送网 (OTN)	115
4.1	OTN 概况	115
4.1.1	OTN 定义及发展	115
4.1.2	OTN 的特点	116
4.1.3	OTN 标准体系	117
4.1.4	OTN 的分层结构	118
4.1.5	OTN 网络模型	119
4.2	OTN 电层	120
4.2.1	电层结构与开销	120
4.2.2	映射与复用	124
4.3	OTN 光层	128
4.3.1	光层结构与开销	128
4.3.2	OTN 光层信号的复用	132
4.3.3	OTN 设备形态	135
4.4	OTN 的物理层接口	136
4.4.1	光接口分类	136
4.4.2	应用代码	137
4.4.3	多通路域间接口	138
4.4.4	单通路域间接口	139
4.4.5	光接口参数	140
4.5	OTN 的维护管理	143
4.5.1	OTN 光层的维护管理	143
4.5.2	OTN 电层的维护管理	144
4.6	基于 OTN 的 ASON 网络及优势	145
4.6.1	基于 OTN 的 ASON 网络	145
4.6.2	基于 OTN 的 ASON 优势	146
第 5 章	多业务传送平台 (MSTP)	149
5.1	MSTP 概述	149

5.1.1	MSTP 的定义	149
5.1.2	MSTP 的发展过程	149
5.1.3	MSTP 的主要功能	150
5.2	城域传送网的特点	151
5.3	ATM 业务的处理	152
5.3.1	对 ATM 业务的支持	152
5.3.2	基本连接功能	153
5.3.3	ATM 业务的保护	153
5.4	以太网业务的处理	154
5.4.1	以太网业务的透传	154
5.4.2	以太网业务的二层交换与汇聚	154
5.4.3	以太环网功能	156
5.4.4	流量控制	157
5.4.5	以太网业务的保护	157
5.4.6	支持以太网业务类型	157
5.5	以太网业务的封装	159
5.5.1	PPP 协议	159
5.5.2	链路接入 SDH 规程 (LAPS)	160
5.5.3	通用成帧规程 (GFP)	161
5.6	VC 级联与以太网业务的映射	166
5.6.1	VC 级联技术	166
5.6.2	以太网业务的映射	168
5.7	LCAS 功能	168
5.7.1	LCAS 简介	168
5.7.2	控制包	169
5.7.3	链路容量自动调整	171
5.8	内嵌 RPR	171
5.8.1	内嵌 RPR 的 MSTP 功能方框图	172
5.8.2	内嵌 RPR 的主要功能	172
5.8.3	内嵌 RPR 的环保护倒换	175
5.9	内嵌 MPLS	177
5.9.1	内嵌 MPLS 的 MSTP 功能	178
5.9.2	数据平面功能	180
5.9.3	控制平面功能	182
5.9.4	构建 L2 VPN	184
第 6 章	智能光网络管理系统	186
6.1	电信管理网 (TMN)	186
6.1.1	TMN 概述	186

6.1.2	TMN 逻辑分层	187
6.1.3	TMN 的结构	188
6.1.4	TMN 的功能	191
6.2	智能光网络网管系统的总体框架	193
6.2.1	ASON 网管研究进展	193
6.2.2	网络管理的类型	193
6.2.3	ASON 网管系统总体框架	194
6.2.4	网络管理的分层	196
6.3	智能光网络网管系统的主要特点	197
6.4	传送平面的管理	198
6.4.1	传送平面管理的主要内容	198
6.4.2	网络单元管理的主要内容	198
6.5	控制平面的管理	199
6.5.1	控制平面模块构成	199
6.5.2	控制平面的管理需求	199
6.6	DCN 的管理	201
6.7	业务层的管理	201
6.7.1	ASON 服务管理功能特点	201
6.7.2	ASON 业务层管理应用	202
6.8	安全和计费管理	204
6.9	端到端连接的管理	204
6.9.1	永久连接 (PC) 的管理	205
6.9.2	软永久交换连接 (SPC) 的管理	205
6.9.3	交换连接 (SC) 的管理	206
6.10	多区域网络管理	207
第 7 章	智能光网络生存技术	209
7.1	光网络的生存性概述	209
7.1.1	网络保护和恢复	209
7.1.2	电信网络对故障恢复的要求	210
7.1.3	光网络生存性技术的发展	212
7.1.4	智能光网络生存性的新特点	213
7.2	智能光网络的保护机制	213
7.2.1	基于控制平面的保护机制	213
7.2.2	基于传送平面的保护机制	216
7.3	智能光网络恢复机制	219
7.3.1	预置重路由恢复	219
7.3.2	动态重路由恢复	220
7.4	保护与恢复机制的结合	221

7.5 多层网络生存性机制	221
7.5.1 独立的多层网络生存性机制	222
7.5.2 协调的多层网络生存性机制	224
7.6 多控制域间的生存性机制	226
第8章 智能光网络业务及服务等级	229
8.1 智能光网络业务的特点	229
8.2 带宽按需分配 (BoD)	231
8.2.1 BoD 业务的基本原理	232
8.2.2 BoD 业务的关键技术	232
8.2.3 BoD 应用方式	234
8.3 光虚拟专用网 (OVPN)	235
8.3.1 OVPN 业务模型	236
8.3.2 OVPN 的主要功能	237
8.3.3 OVPN 应用	238
8.4 流媒体业务	239
8.5 智能光网络业务的3种连接	240
8.5.1 永久连接	240
8.5.2 软永久连接	240
8.5.3 交换连接	240
8.6 业务等级协议 (SLA)	241
8.6.1 业务等级协议 (SLA) 的含义	241
8.6.2 服务等级的分类	241
8.6.3 服务等级的建立	242
第9章 智能光网络规划	248
9.1 智能光网络规划的特点	248
9.1.1 概述	248
9.1.2 智能光网络规划的特点	248
9.2 智能光网络规划流程	249
9.3 确定具体的规划目标	250
9.4 收集用户网络信息	250
9.4.1 明确网络建设模式	250
9.4.2 网络物理拓扑和光纤信息	250
9.4.3 业务矩阵信息	250
9.5 网络业务分析	251
9.5.1 业务等级划分	251
9.5.2 设备类型选择	252
9.5.3 智能业务的接入方式	252

9.6 网络结构规划	253
9.6.1 纵向分层横向分域	253
9.6.2 栅格化组网	255
9.6.3 智能光网络结点的选取	255
9.7 网络容量的规划	256
9.7.1 网络容量的计算	256
9.7.2 路由约束条件的选择	256
9.8 业务的安全性分析	258
9.8.1 安全性与网络容量的关系	258
9.8.2 网络容量和网络安全性验证	259
9.9 智能光网络规划软件及仿真	260
第 10 章 传统光网络向智能光网络的演进策略	261
10.1 传统光网络向智能光网络演进的过程	261
10.1.1 传输技术体制的演进	261
10.1.2 传输网络的演进	261
10.2 传统光网络与智能光网络混合组网	263
10.2.1 传统网络和智能光网络间的业务组织	263
10.2.2 传统网络间业务穿越智能光网络	263
10.2.3 业务穿越新老网络混合组网	264
10.2.4 新老网络间业务分离	264
10.2.5 新老网络 DNI 互连 SNCP 业务配置	265
10.2.6 新老网络共存下端到端业务配置	265
10.3 智能光网络设备与多厂商设备组网	266
缩略语	267
参考文献	281

第 1 章 光纤通信发展及演进

智能光网络代表了下一代光网络发展的方向，具有良好的发展前景。从国际电信联盟电信标准化部门（ITU-T）的 Q19/13 研究组在 2000 年 3 月正式提出后，在各界的共同推动下，以自动交换光网络（ASON, Automatic Switched Optical Network）为主流技术的传送网络拉开了智能光网络发展的序幕，掀起了一场传输领域的变革。智能光网络技术标准在短短的几年内得到不断完善，产品得到了快速发展并得到规模应用。本章重点介绍光传输网络的演进过程，阐述传统网络技术的限制，综述下一代智能光网络的主要特征和优点。

1.1 光纤通信发展过程

光纤通信在过去 20 多年的时间里，经历了由低速到高速、从准同步数字序列（PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy）到同步数字序列（SDH, Synchronous Digital Hierarchy），再到智能光网络的发展历程。单路波道的传输速率已从过去的 PDH 8 Mbps 迅猛发展到了 SDH 40 Gbps，160 Gbps 的传输速率正在实验中。由于单一波道传输速率的提升受到诸多因素的限制，为进一步扩大传输容量，光纤波分复用（WDM, Wavelength Division Multiplexing）技术得到了大量的应用，现已从过去的 8 波 2.5 Gbps 迅速发展到了 256 波 40 Gbps 的超大传输容量。目前，光传输领域的主流技术是采用架构在波分复用（WDM）系统之上的 SDH 传送网络，这两种技术的融合和大量应用有着时代的代表性，今天来看很多标准和做法或多或少带着那个时代的印迹及认知的局限性，经过网络业务的拓展、翻新和新科学技术革命的双重洗礼，传输领域迎来了新一轮的更新换代、竞争和发展。人们对传输网络的复杂性、多样性有了更进一步的认知。为研究光网络的发展历史，加深对新技术应用的理解，下面对 SDH 和 WDM 技术进行简要介绍，以揭示光网络发展的历史脉络。

1.1.1 光波分复用（WDM）技术

光波分复用（WDM, Wavelength Division Multiplexing）技术是在一根光纤中同时传输多个波长的光信号的一项技术。这种技术的原理是在发送端将不同波长的光信号组合复接起来，并耦合到光缆线路的同一根光纤中进行传输，即是复用过程；在接收端又将组合波长分解，并进一步处理，恢复出原信号后送入不同波长终端，这一过程称为解复用。这里复用和解复用的全过程被称为波分复用技术。根据波道间隔不同分为粗波分（CWDM, Coarse Wavelength Division Multiplexing）和密集波分复用（DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing），通常人们把 8 波以上光波分复用称为密集波分复用。光波分复用系统组成如图 1-1 所示。

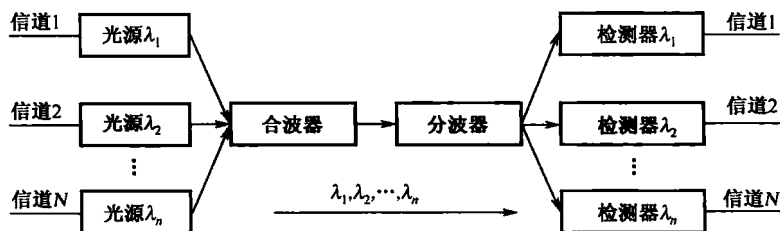


图 1-1 光波分复用系统组成框图

WDM 光传送网从垂直方向上可分解成多个独立的分层网络，其分层网络结构模型如图 1-2 所示。从功能的角度出发，WDM 光传送网可以分为电子层、光层和物理媒介层。电子层包含了电路交换层和电子通道层（EP）。光层则包含了光通道子层（OP）和光段层（OS）。其中，光段层进一步细分为光复用段层（OMS）和光中继段层（ORS）。WDM 传送网与 SDH 传送网的最大不同是在通道层引入了一个新的子层——光通道子层。引入光通道子层后，光交叉连接设备（OXC）可以直接在光域对接高速数据流。DXC（数字交叉连接设备）仅对低等级数字流实现分接和路由，也可以用光通道子层的光分插复用器（OADM）来完成。光通道子层还能完成原来在电子通道子层实现的网络监控和故障恢复等功能。

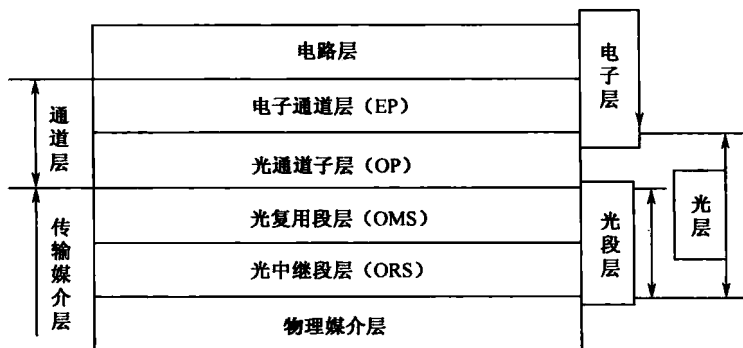


图 1-2 WDM 光传送网分层模型

光通道网络是基于波长路由的，每个光通道通过光波长来进行识别，因此，基于波长路由的光通道处理可以在光域完成。由于采用光信号处理，光通道技术为不同比特率和传输模式（PDH、SDH 或 ATM）提供了一个统一的光平台。已经提出的光通道实现机制很多，其中的波长通道机制（WP）和虚波长通道机制（VWP）是最重要的两种。这两种光通道机制能够同时增强传输容量和 OXC 的吞吐量，简化网络恢复过程，提高网络的灵活性和可靠性。

WDM 光传输系统中的关键器件主要包括：光源器件、合/分波器、光放大器、光开关等。光源器件在 WDM 系统的超长距离传输中有着非常苛刻的要求，光源器件必须具有十分狭窄的谱宽和非常稳定的发射波长。在光源的调制方式上 WDM 系统没有采用传统的直接调制方式而改用外调制方法，即所谓外调制型光源。光纤通信系统的传输距离可能会受到系统损耗的限制，也可能会受到系统色散的限制，而在高速率传输的情况下，色散受限往往占主要地位。采用传统的直接调制方式会使半导体激光器在高速率条件下

工作时产生啁啾噪声，它极大地限制了系统的传输距离。合/分波器实际上就是光学滤波器，其作用是对各复用光通路信号进行复用与解复用。对合/分波器的基本要求是：插入损耗低、隔离度高、具有良好的带通特性、温度稳定性好、复用通路数多和具有较高的分辨率等。光放大器的作用是对复用后的光信号进行直接光放大，以解决 WDM 系统的超长距离传输问题。对光放大器的要求是：有很高的增益、很宽的带宽和较低的噪声系数等。特别是对于密集波分复用（DWDM）来说，关键是掺铒光纤放大器（EDFA）。光纤在 1 550 nm 窗口有一较宽的低损耗带宽，可以允许 DWDM 的光信号同时在一根光纤上传输。采用这种放大器的多路传输系统可以扩展，经济合理。EDFA 出现以后，迅速取代了电的信号再生放大器，大大简化了整个光传送网。但随着系统带宽需求的不断上升，EDFA 也开始显示出它的局限性。由于可用的带宽只有 30 nm，同时又希望传输尽可能多的信道，故每个信道间的距离非常小，一般只有 0.8~1.6 nm，这很容易造成相邻信道间的串扰。因此，实际上 EDFA 的带宽限制了 DWDM 系统的容量。最近的一项研究表明，1 590 nm 宽波段光纤放大器能够把 DWDM 系统的工作窗口扩展到 1 600 nm 以上。贝尔实验室和 NH 的研究人员已研制成功实验性的 DBFA，DBFA 是一种基于二氧化硅和铒的双波段光纤放大器，由两个单独的子带放大器组成。传统 1 550 nm（1 530~1 560 nm）的 EDFA 和 1 590 nm 的扩展波段光纤放大器（EBFA）的结合使用，可使 DWDM 系统的带宽增加一倍以上（75 nm），为信道提供更大的空间，从而减少甚至消除了串扰。因此，1 590 nm 的 EBFA 向满足不断增长的高容量光纤系统的需求迈出了重要的一步。

由于光器件和科技水平的发展，WDM 技术近几年来获得了飞速的发展，得到了广泛的应用。其主要的特点和优势如下：

（1）超大的传输容量。

光纤具有巨大的带宽资源。通过波分技术进行传输，可使一根光纤从单波传输扩展到上百个波长，传输容量增加到几倍至几十倍甚至几百倍，具有极高的应用价值和经济价值。

（2）超长的传输距离。

掺铒光纤放大器（EDFA）具有高增益、宽带宽，噪声较低等优点，在光纤通信中得到了广泛的应用。它可以覆盖整个 1 550 nm 波长的 C 波段或 L 波段。所以用一个带宽很宽的 EDFA，就可以对 WDM 系统进行放大，以实现长距离传输，如 640 km。拉曼光纤放大器（RFA）比 EDFA 具有更低的噪声，用它可以实现超长距离（如 2 000 km 以上）传输。

（3）组网灵活和高的可靠性。

WDM 技术有着多种应用方式，如长途干线网、光波分配网、多路多址分配网等，可以利用 WDM 技术选择路由，应用不同的保护功能，实现网络交换和故障恢复，从而实现未来的透明、灵活、经济且有高度生存性和可靠性的光网络。

（4）节省线路投资。

N 个波长复用后在一根光纤中传输，一根光纤相当于 N 根“虚拟光纤”，可以节省大量的光纤，降低了线路投资。对已建的光缆线路，采用波分复用技术进行系统扩容也极为方便，在功率允许的情况下无须对线路进行改造，只须更换两端设备就可完成扩容，大大节省系统投资。

(5) WDM 技术适应智能光网络的发展要求。

WDM 的应用方式灵活, 通道的数据格式透明, 在网络扩容和业务增值中是最理想的扩容手段, 也是引入智能光网络最为方便的手段。

1.1.2 同步数字序列 (SDH)

同步数字序列 (SDH, Synchronous Digital Hierarchy) 是由一些基本网络单元 (NE) 组成, 在光纤上可以进行同步信息传输、复用、分/插和交叉连接的传送网络。它具有全世界统一的网络结点接口 (NNI), 有一整套标准的信息结构等级, 称为同步传送模块 STM- N ($N=1, 4, 16, 64, \dots$)。其中最基本的模块为 STM-1, 传输速率为 155.520 Mbps; 相邻等级的模块速率之间保持严格的 4 倍关系。SDH 具备块状帧结构, 每帧包含 $9 \times 270 \times N$ 个字节, 帧重复周期固定为 125 μs 。按功能划分成段开销、净负荷和管理单元指针 3 个区域。段开销区存放与网络运行、管理、维护和指配功能相关的附加字节; 净负荷区存放用于电信业务的比特及少量用于通道维护管理的通道开销字节; 管理单元指针用来指示净负荷区存放的信息首字节在 STM- N 帧内的准确位置, 以便接收时能正确分离净负荷。指针技术是 SDH 的重要创新。SDH 规范了一整套特殊的复用方法, 描述现有的各种数字信号, 包括 PDH、ATM 和 IP 等, 以及将来未知格式的新的信号类型可能采取何种路线、经历怎样途径被载入同步传送模块中, 因而具有广泛的兼容性。不同业务在进入 SDH 帧结构时需要经过 3 个基本步骤, 即映射、定位和复用。

映射是一种在 SDH 网络边界处, 使各支路适配进虚容器的过程。其实质是各支路信号与相应的虚容器同步, 以便使虚容器成为可以独立地传送、复用和交叉连接的实体。

定位是一种将帧偏移信息收进支路单元或管理单元的过程, 它通过支路单元指针或管理单元指针功能来实现。

复用是一种把多个低阶通道层信号适配进高阶通道层或者把多个高阶通道层信号适配进复用段层的过程。

SDH 通道层支持一个或多个电路层网络, 为电路层网络结点之间提供透明的通道连接。包括低阶通道层和高阶通道层, 其传送实体分别是不同种类的虚容器。传输媒质层支持一个或多个通道层网络, 为通道层网络结点之间提供合适的传输容量, 包括段层和物理层, 前者涉及为提供通道层结点间信息传递的所有功能, 又可细分为复用段层和再生段层; 后者涉及具体支持段层网络的物理媒质类型, 与开销无关。

SDH 提出了一套完整而严密的传送网解决方案, 是目前传送网应用最广泛、最成功的范例。SDH 既是一项国际标准, 又是一个组网原则, 也是一种复用方法。最重要的是, 它提供了一个在当时国际上得到广泛认可的标准框架, 在此框架基础上可以构建出灵活、可靠、易管理和可持续发展的新型电信传送网络, 不仅为以后业务的开发提供了兼容的传输解决方案, 还使得不同厂商之间的设备互通变为可能。

在长途光缆干线传输网络中, WDM 负责解决业务的远距离传输和大容量的问题, SDH 负责解决业务的上下、调度和保护功能。目前 SDH 传送网络架构在波分复用 (WDM) 系统之上组网已得到大量应用, 十多年来一直焕发着勃勃生机, 其主要原因是 SDH 拥有开放化的体系结构、层次化的组织方式、模块化的处理过程, 能够保证 SDH 在已有的应用范畴内, 通过新技术的引用和与其他技术的融合, 实现了原先网络所不具有的网络传送功能, 开辟出新应用领域, 从而推动了这种技术的持续发展。但是 SDH 系统最初是为

传递 64 kbps 的语音业务设计的，在今天网络业务性质已发生巨大改变，IP（Internet Protocol）业务得到迅猛的发展，并已成为网络应用业务的主流，而语音业务的增长已趋减缓，信息传递正在向着数据化和综合化方向发展，网络向着智能化、宽带化、兼容性和安全可信的方向发展。骨干网络带宽仍以每隔 6~9 个月增长一倍的速度扩展着。IP 业务具有自相似性、突发性和流向不确定性等特点，要求传输网络具有更加完善的保护和恢复功能、更强大的互操作性和扩展性，要求网络能够实时、动态地调整网络的逻辑拓扑结构，从而实现网络资源的最佳利用。这些变化实质上赋予了现有系统更多的智能性，原有的网络技术和组织方式已经力不从心，要求网络向智能光网络发展进化。

1.2 传统网络的限制

1.2.1 网络结构的限制

在传统光网络中，信息通常是以 SDH 传输系统进行承载的，其拓扑结构多以线形和环形为主。SDH 环网虽然能够通过自愈环保护方式实现通道的快速倒换保护，但其网络扩展性较差，并且带宽利用率较低（由于环网保护需要预留一半带宽）。网络缺少恢复和路由选择功能，网络的适应能力不强。随着网络规模越来越大，网络结构日渐复杂，随之而来的网络管理、系统维护困难带来的压力也越来越大。

1.2.2 通路组织的限制

传统网络缺少实时的业务供给能力。通路组织配置方式是靠人工或半人工建立网络连接，这种业务配置方式由于业务从申请到真正开通，都是依靠人工操作进行完成，尤其当牵涉到多厂家的设备互连互通时，需要人工协调及测试，调通一条信道通常需要花费数小时甚至数天的时间，因此时间花费过长，工作效率很低。业务配置时，需要逐环、逐点配置。业务路径及时隙、网络拓扑的变化不能实时反映到网管，难以实现实时的网络管理。

1.2.3 业务模式的限制

新型业务模式的出现使得传统传输网越发捉襟见肘。随着 3G、分组业务、宽带数据业务的不断发展，网络带宽的需求不断扩大，由于数据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也越来越迫切。传统 SDH 网络的局限性日益凸现，不能提供可个性化的多项服务以供选择，不能按照服务水平协议（业务等级协定）满足客户的多种要求。面对数据业务突发性大的特点，传统网络的业务量的吞吐能力、业务流量的调控能力、网络扩展的适应能力，以及由此带来的维护操作难度的加大，越发难于满足人们日益增长的业务需求的期望。传统网络技术已经成为新一代网络业务扩展的瓶颈。

1.3 智能光网络的定义及功能

1.3.1 智能光网络的定义

所谓智能光网络是指在信令网控制下完成光网络连接的自动交换功能，是具有网络资源按需动态配置能力的光传送网络。它的核心内容是在光传送网络原有的传输平面和