

培养 21 世纪通信工程师系列教材

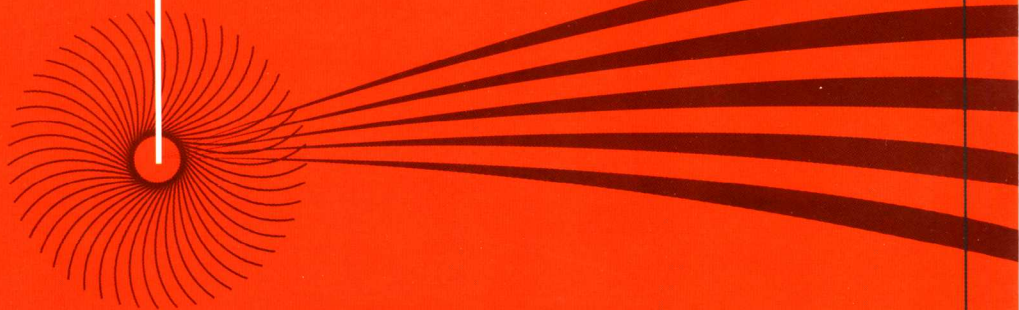
朗讯科技「中国」有限公司

· 光网络部 ·

编著

# 光传输

# 技术



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北方交通大学出版社

<http://press.njtu.edu.cn>



## 内 容 提 要

本书针对光纤通信领域中有关光传输方面的知识,按照基础篇、设备篇、组网篇、网络管理篇和测试篇的次序,由浅入深、循序渐进、前后关联并理论联系实际,较系统地介绍了光传输技术在传送网络中的应用过程及其发展前景。

本书可供从事通信或相关的规划设计、研究的工程技术人员及维护管理人员,大专院校通信或相关专业的学生阅读参考。

**版权所有,翻印必究。**

**本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。**

### 图书在版编目(CIP)数据

光传输技术 / 朗讯科技(中国)有限公司 光网络部编著. —北京: 北方交通大学出版社, 2003.9

(培养 21 世纪通信工程师系列教材)

ISBN 7-81082-158-X

I. 光… II. 朗… III. 光通信 IV. TN929.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 056270 号

责任编辑: 韩 乐

印 刷 者: 北京东光印刷厂

出版发行: 北方交通大学出版社 邮编: 100044 电话: 010-51686045, 62237564

清华大学出版社 邮编: 100084

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×960 1/16 印张: 31.5 字数: 582 千字

版 次: 2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 45.00 元

# 《光传输技术》编委会

编委会主任：李云山 王利群

编委会成员：王利群 范理 叶臻亮 王荣

付振华 陆飞骏 余红 保卫

孙敦旭 曹克勋

# 序 1

自 1994 年我国引进 SDH 产品以来,不到 10 年已建成近 230 万公里光缆传输网,其中长途光缆线路近 50 万公里。光缆传输系统建设工程技术人员和传输网运行维护人员的培训成为光传输网发展重要的组成部分。虽已经出版了十多本有关 SDH 和 WDM 的书籍,但随着技术的发展、产品的进步,仍需要更好的新书来介绍这些新进展。在光通信这样一个发展很快的领域,要写一本好书是不易的,回头看,几年前的一本好书,可能很快“过时”,令人望而生畏。本书的青年作者群却能知难而上,专门为从事光通信工作的年轻工程师,以及大学里的未来工程师编写一本《光传输技术》,他们这种奉献精神难能可贵。

该书作者是朗讯科技(中国)有限公司的青年科技人员,他们工作在工程建设和客户培训一线,有丰富的实践经验,他们编写的这本书,既有基本原理深入浅出的讲解,又有实际操作的具体指导,使得不同需求的读者都可以从中多方面受益。

通常光通信产品供应厂商都有自己的培训中心,多数培训课程是紧密结合自己的产品,以帮助用户了解和用好产品为目的。随着电信网向信息网的发展,要求电信工程师具有更广的知识,有些培训中心正在从单一面向用户改变为面向社会,更多的培训课程转变为以提高受训工程师的素质为目的。这就使得培训课程和教材更具普遍适用性,过去内部使用的教材适合于公开出版。《光传输技术》是一个好的开始,盼望在其他专业有更多好的内部教材公开出版。

邓忠礼

2003.10

## 序 2

随着科学技术的发展,通信技术作为现代高科技的主要手段之一,发生了日新月异的变化。以光纤通信为代表的传输网不仅构架了现代通信最重要的基础网络,同时其发展的规模和速度已远远超过了人们的想像,成为近年来通信界发展最快、技术最为成熟和完善的亮点。

光纤通信的诞生与发展是电信史上的一次里程碑式的革命。自从1977年,在美国芝加哥和圣塔摩尼卡(Santa Monica)之间首次开通了商用的光纤通信系统以来,随着光纤和激光器件技术的不断进步,光纤通信以其无可比拟的超大容量,在信息量爆炸性增长的信息社会里,成为信息传递的主力。同时,光纤通信技术的发展与计算机技术的结合和融合,使传统的以及现代的所有通信技术得以综合利用,光纤通信技术正以网的概念给人们预置了令人难以想像的发展空间。

为了使广大读者能在一个较短的时间内,对整个传输概念、传输设备及传输网络有一个较完整的、系统的了解和认识,同时向读者提供现代通信全面的、完整的、系统的清晰图像,朗讯科技(中国)有限公司光网络部的有识之士,本着一丝不苟、严肃认真的科学态度,特意把在教学和具体的网络调测过程中积累的有益经验精心编成本书,奉献给广大读者,以期达到抛砖引玉、共同进步的愿望。

本书主要分五个篇章:基础篇、设备篇、组网篇、网络管理篇以及测试篇。在本书的编写过程中,作者主要借鉴朗讯科技公司的光传输设备(即光网络产品)作为参考,虽然不能面面俱到,但和其他厂家的技术相比,其应用手段和方法完全可以类推。

本书并不是知名专家和教授的论著,也非同一般的通信原理一类纯理论的专业书籍,作者通过广泛吸取同类书籍的许多精华,在概念上,力求简明扼要、深入浅出;在语言描述上,注重可读性,避免烦琐的数学分析;同时为了加深读者理解,在理论和实践的结合上多下工夫,尽可能把实践经验穿插贯穿于理论阐释之中。因此,本书对从事通信或相关专业的规划设计、研究的工程技术人员、维护管理人员,以及大专院校通信或相关专业的学生,都有较高的参考价值。

朗讯科技(中国)有限公司 光网络部

李云山

2003年10月于上海

# 前 言

古往今来,通信与人类信息社会的发展紧密相关。然而,在通信领域里,自从电报发明约一百年来,人类信息的有线传输都是依靠金属导线。1970年,世界上第一根损耗为20 dB/km多模光纤问世,这标志着人类开始用光纤代替金属导线来传输信息,光纤通信也随之应运而生并成为通信史上的一个重要里程碑。虽然它只有短短30多年的发展历程,但是,无论是光纤/光缆技术、光器件技术,还是电/光复用技术等其他技术的发展速度都是通信历史中前所未有的。自从第一个供商用的光纤通信系统问世以来,全球敷设的光缆已超过2亿公里。对于光传输技术及其应用也先后通过准同步数字系列(PDH)、同步数字体系(SDH)和波分复用(WDM)这些光纤通信设备得到了充分的体现。在通信技术日新月异的今天,较全面而系统地了解光纤通信领域中有关光传输方面的知识应当遵循以下过程:从基本概念与标准到所对应的设备与系统;从不同设备与系统之间的互联到组网所形成的传输网络;从组网方案的实施到对传输网络的管理与测试。将这些过程所涉及的知识连贯起来,以便读者更好地了解光传输技术及其应用,这就是本书编写的指导思想。作者希望通过本书对同行或对光纤通信感兴趣的读者有所帮助。

本书按照基础篇、设备篇、组网篇、网络管理篇和测试篇的次序,由浅入深、循序渐进、前后关联并理论联系实际,较系统地介绍了光传输技术在传送网络中的应用过程及其发展前景。本书共有5篇17章。

第1篇(第1~7章)为“光传输技术基础篇”,介绍了基本概念、应用技术、传送网络、同步与定时、电信管理网络(TMN)、下一代传送网络的演进和国际电信联盟电信标准化部门(ITU-T),并简单介绍了有关光传输的国内标准。

第2篇(第8、9章)为“光传输技术设备篇”,该篇以第1篇为基础,分别描述了PDH设备、SDH设备和DWDM设备的硬件组成、系统功能和具体应用。

第3篇(第10~12章)为“光传输技术组网篇”,讲述了传送网物理基础的必要性和重要性,即如何用SDH设备和DWDM设备进行组网;分析了光传输网的组网要素和网络优化问题;并举了光传输网组网的若干方案。

第4篇(第13、14章)“光传输网络管理篇”以光传输设备的应用与组网

为前提,从对光传输网络进行有效管理方面着眼,描述了 PDH 网络管理、SDH 网络管理和 DWDM 网络管理的基本概念和功能以及它们在光传输网络中的应用,还就如何对网络管理网进行优化做了说明。

第 5 篇(第 15~17 章)“光传输技术测试篇”从实际应用出发,以单机测试、系统测试、告警功能验证/网管功能验证测试为切入点,从测试条目、测试仪表、测试配置(框图)、测试步骤和注意事项等方面较全面地介绍了 PDH 设备测试、SDH 设备测试和 DWDM 设备测试。

本书第 1 章、第 2 章的 2.1 节、第 8 章、第 14 章的 14.1 节和第 15 章由王利群编写;第 2 章的 2.2 节、第 3 章、第 4 章、第 6 章的 6.1 节、6.3 节和 6.4 节以及第 9 章的 9.1 节由范理编写;第 2 章的 2.3 节、第 6 章的 6.6 节和 6.8 节、第 9 章的 9.2.5 至 9.2.8 小节和 9.3 节由叶臻亮编写;第 5 章、第 6 章的 6.7 节、第 13 章、第 14 章的 14.2 节和 14.4 节由王荣编写;第 6 章的 6.2 节和 6.5 节、第 9 章的 9.2.1 至 9.2.4 小节和 9.2.9 小节由付振华编写;第 7 章的 7.1 节由陆飞骏编写;第 7 章的 7.3 节由余红编写;第 7 章的 7.2 节由王荣和余红共同编写;第 10 章、第 11 章和第 12 章由保卫编写;第 14 章的 14.3 节由孙敦旭编写;第 16 章由曹克勋编写;第 17 章由叶臻亮和曹克勋共同编写。本书的编排和文字处理由陆飞骏完成。

在本书编写的过程中,作者不仅得到了朗讯科技(中国)有限公司有关领导的支持与鼓励,还得到了通信行业专家们的指教,尤其是邓忠礼老师在百忙之中,对本书的写作提出了宝贵的修正意见。此外,商哲民、徐勇放、童辉、孙越光、刘志诚、程凯、吴伟青、李军、张涛、沙伟光和章霖等同仁给予了大力支持与帮助,在此一并表示衷心地感谢!

由于作者知识水平有限,编写时间也比较仓促,书中肯定有不少错误和不足的地方,敬请有关专家和读者批评指正。

王利群 执笔

2003 年 9 月于上海

# 目 录

## 第 1 篇 光传输技术基础篇

<b>第 1 章 基本概念</b> .....	( 3 )
1.1 通信 .....	( 3 )
1.2 电信 .....	( 3 )
1.3 电信网 .....	( 3 )
1.4 信息、消息和信号 .....	( 4 )
1.5 系统 .....	( 5 )
1.6 通信与通信系统 .....	( 5 )
1.7 数字通信与数据通信 .....	( 6 )
1.8 光纤数字通信系统 .....	( 7 )
1.9 传送与传输 .....	( 8 )
1.10 比特与波特 .....	( 8 )
1.11 比特差错率与误码元差错率 .....	( 8 )
1.12 光纤与光纤的种类 .....	( 9 )
1.13 传输码型 .....	( 11 )
1.14 扰码 .....	( 14 )
1.15 抖动与漂移 .....	( 14 )
1.16 电复用技术 .....	( 15 )
1.17 光复用技术 .....	( 16 )
1.18 光波长与频率 .....	( 18 )
1.19 光孤子与光孤子传输系统 .....	( 18 )
1.20 测试接口 .....	( 20 )
1.21 眼图 .....	( 20 )
参考文献 .....	( 21 )
<b>第 2 章 应用技术</b> .....	( 22 )
2.1 准同步数字系列 .....	( 22 )
2.1.1 何谓准同步数字系列 .....	( 22 )
2.1.2 PDH 基本原理 .....	( 22 )
2.2 同步数字体系 .....	( 30 )
2.2.1 何谓同步数字体系 .....	( 30 )



2.2.2	为何采用SDH .....	(30)
2.2.3	SDH基本原理 .....	(31)
2.3	波分复用 .....	(59)
2.3.1	何谓波分复用 .....	(59)
2.3.2	DWDM系统基本结构 .....	(62)
2.3.3	DWDM新的特点 .....	(68)
	参考文献 .....	(72)
<b>第3章</b>	<b>传送网络 .....</b>	<b>(73)</b>
3.1	何谓传送网络 .....	(73)
3.2	传送网络的组成 .....	(73)
3.3	传送网络的分层和分割 .....	(76)
3.4	网络保护和恢复 .....	(79)
3.4.1	线状网络的保护 .....	(79)
3.4.2	环状网络的保护 .....	(80)
3.4.3	跨环业务的保护 .....	(83)
3.4.4	网孔状网络的恢复 .....	(87)
3.4.5	几种保护特性的比较 .....	(88)
	参考文献 .....	(89)
<b>第4章</b>	<b>同步与定时 .....</b>	<b>(90)</b>
4.1	为什么要同步 .....	(90)
4.2	网同步的原理 .....	(91)
4.2.1	网同步的方式 .....	(91)
4.2.2	同步定时参考信号的来源 .....	(92)
4.2.3	SDH时钟工作模式 .....	(92)
4.3	SDH的同步设计 .....	(94)
4.3.1	基本设计要求 .....	(94)
4.3.2	网同步的实现及同步状态标志(SSM)的应用 .....	(95)
4.3.3	网元同步参考选择的基本规则 .....	(96)
4.3.4	同步方案的举例 .....	(97)
	参考文献 .....	(100)
<b>第5章</b>	<b>电信管理网络 .....</b>	<b>(101)</b>
5.1	何谓电信管理网络 .....	(101)
5.2	TMN的基本原理 .....	(102)
5.2.1	TMN的结构 .....	(102)
5.2.2	TMN的管理功能 .....	(106)
	参考文献 .....	(109)

<b>第 6 章 向下一代传送网络的演进</b>	(110)
6.1 概述	(110)
6.2 多业务传送平台	(112)
6.2.1 MSTP 的功能块模型	(112)
6.2.2 MSTP 的保护	(114)
6.2.3 MSTP 管理系统结构	(114)
6.3 点对点的 DWDM 传输系统向全光传送网演进	(115)
6.3.1 何谓全光传送网	(115)
6.3.2 OTN 分层结构	(115)
6.3.3 关于 OTN 的 ITU-T 建议	(117)
6.3.4 实现 OTN 的核心节点技术	(117)
6.4 光传送网向智能光网络的演进	(121)
6.4.1 何谓智能光网络/自动交换传送网/自动交换光网络	(121)
6.4.2 ASON 的功能性结构	(122)
6.4.3 ASON 的连接类型	(123)
6.4.4 ASON 的控制面	(124)
6.4.5 向智能光网络演进	(125)
6.5 用 SDH 传送 IP	(127)
6.5.1 以太网接口	(128)
6.5.2 2 层交换	(128)
6.5.3 数据封装	(129)
6.5.4 数据帧的映射	(130)
6.5.5 STM-N 接口	(130)
6.6 基于 DWDM 的 IP	(130)
6.7 光传送网的数字封装技术	(133)
6.7.1 数字封装技术的优势	(133)
6.7.2 数字封装的帧结构	(134)
6.7.3 前向纠错技术	(135)
6.7.4 合理的平衡	(136)
6.8 光城域传送网	(136)
6.8.1 CWDM 技术	(137)
6.8.2 弹性分组环	(138)
6.8.3 多业务环	(138)
6.8.4 多协议标记交换	(139)
参考文献	(139)
<b>第 7 章 国际电联电信标准化部门</b>	(141)
7.1 何谓国际电联电信标准化部门	(141)

7.1.1	国际电联电信标准化部门的由来	(141)
7.1.2	ITU-T 的工作	(142)
7.2	ITU-T 有关光传输的主要建议	(148)
7.2.1	主要建议分类框图	(148)
7.2.2	主要建议概述	(148)
7.3	有关光传输的国内标准	(166)
7.3.1	主要标准分类框图	(166)
7.3.2	主要标准详细目录	(167)
	参考文献	(171)

## 第 2 篇 光传输技术设备篇

第 8 章	PDH 设备简介	(175)
8.1	8TR 635/641 PCM 设备	(176)
8.2	8TR 642/3/4 高次群复用设备	(178)
8.3	8TR 694 光线路传输设备	(183)
8.4	8TR 671 光电组合设备	(187)
第 9 章	SDH 及 DWDM 设备简介	(192)
9.1	第一代设备——2000 系列	(192)
9.1.1	ISM-2000 智能同步复用设备	(192)
9.1.2	SLM-2000 同步线路复用设备	(196)
9.1.3	DACS VI-2000 数字交叉连接系统	(201)
9.2	第二代设备——WaveStar 系列	(210)
9.2.1	WaveStar <sup>®</sup> AM1 Plus 新一代 STM-1 和 STM-4 复用系统	(211)
9.2.2	WaveStar <sup>®</sup> ADM 4/1 适用于 STM-1 和 STM-4 SDH 复用系统	(214)
9.2.3	WaveStar <sup>®</sup> ADM 16/1 2.5 Gbit/s SDH 复用和传送系统	(216)
9.2.4	WaveStar <sup>®</sup> ADM 16/1 Compact 紧凑型 SDH 复用和 传送系统	(219)
9.2.5	WaveStar <sup>®</sup> TDM 10 G 10 Gbit/s SDH 复用和传送系统	(224)
9.2.6	WaveStar <sup>®</sup> DACS 4/4/1 SDH 数字交叉连接设备	(229)
9.2.7	WaveStar <sup>®</sup> BWM 带宽管理设备	(236)
9.2.8	WaveStar <sup>®</sup> OLS 1.6T 密集波分复用系统	(243)
9.2.9	WaveStar <sup>®</sup> TransLAN SDH 复用设备数据卡	(253)
9.3	第三代设备——Lambda 与 Metropolis 系列	(257)
9.3.1	LambdaUnite <sup>™</sup> MSS 多业务交换传输设备	(257)

9.3.2	LambdaXtreme™ Transport 光传送设备	(261)
9.3.3	LambdaRouter™ AOS 全光交叉设备	(270)
9.3.4	MetroPolis <sup>®</sup> EON 增强型光联网系统	(276)
9.3.5	Metropolis <sup>®</sup> ADM MultiService Mux 城域多业务光传送平台	(284)

### 第 3 篇 光传输网络组网篇

第 10 章	光传输网络组网概述	(293)
第 11 章	光传输网组网要求	(294)
11.1	光传输网的特性与发展趋势	(294)
11.1.1	网络特性	(294)
11.1.2	网络发展趋势	(296)
11.2	网络的组网要素分析	(300)
11.2.1	业务驱动和需求的分析	(300)
11.2.2	网络基础条件和设施限制的分析	(303)
11.2.3	网络结点的选择及路由设置的分析	(304)
11.2.4	网络拓扑的选择:环状网和网格状网的分析和选择	(304)
11.2.5	网络的分层和简化趋势的分析	(306)
11.2.6	网络管理系统的分析	(308)
11.2.7	SDH 传送网的同步分析	(310)
11.2.8	网络保护和恢复的分析	(310)
11.2.9	网络可扩展性的分析	(311)
11.2.10	技术和设备的选择与分析	(312)
11.2.11	总结	(313)
11.3	光传输网络的优化和扩容	(314)
11.4	网络设计规划辅助工具	(316)
第 12 章	光传输网组网范例	(319)
12.1	P 省光骨干传输网组网方案	(319)
12.1.1	背景	(319)
12.1.2	网络建设目标和指导思想	(320)
12.1.3	网络拓扑和业务需求	(321)
12.1.4	技术和设备的选择	(321)
12.1.5	组网方案和建设阶段	(323)
12.1.6	总结	(326)
12.2	M 市城域光网络组网方案	(327)
12.2.1	背景	(327)
12.2.2	网络建设目标和指导思想	(328)
12.2.3	业务需求	(329)

12.2.4	核心节点的选取	(330)
12.2.5	网络路由设定	(334)
12.2.6	技术和设备的选择	(335)
12.2.7	组网方案和建设阶段	(336)
12.2.8	总结	(341)
参考文献		(341)

## 第 4 篇 光传输网络管理篇

<b>第 13 章</b>	<b>光传输网络管理概论</b>	(345)
13.1	PDH 网络管理	(346)
13.2	SDH 网络管理	(346)
13.2.1	SMN 与 TMN 的关系	(347)
13.2.2	SMN 的组织模型	(349)
13.2.3	SDH 信息模型	(350)
13.2.4	SMN 的分层结构	(350)
13.2.5	SMN 的管理功能	(351)
13.2.6	ECC 协议栈	(354)
13.2.7	操作运行接口	(356)
13.3	DWDM 网络管理	(358)
13.3.1	DWDM 网管的基本要求	(358)
13.3.2	DWDM 网元管理系统主要功能	(358)
13.4	光网络管理技术的发展	(361)
参考文献		(366)
<b>第 14 章</b>	<b>网络管理在光传输中的应用</b>	(367)
14.1	PDH 的网管	(367)
14.1.1	STR 647 I/STR 647 II 本地监控系统	(367)
14.1.2	NMU/ENS 网络中介单元/增强型网络监控	(369)
14.1.3	TRANSVU II 传送网络管理系统	(370)
14.2	SDH/DWDM 的网管	(372)
14.2.1	本地监控系统 WaveStar <sup>®</sup> ITM-CIT/WaveStar <sup>®</sup> CIT	(372)
14.2.2	综合传送管理—子网控制器 WaveStar <sup>®</sup> ITM-SC	(376)
14.2.3	光网络网元管理系统 Navis <sup>™</sup> Optical EMS	(380)
14.2.4	光网络管理系统 Navis <sup>™</sup> Optical NMS	(383)
14.3	其他类型的网管	(388)
14.3.1	电信网络资源管理系统 NetMaster <sup>™</sup>	(389)
14.3.2	传输网络集中监控系统 NetGuard <sup>™</sup>	(392)
14.4	网络管理网的设计与优化	(396)

14.4.1 DCN网络的基本组成 .....	(396)
14.4.2 DCN网络的设计 .....	(399)
参考文献 .....	(407)

## 第5篇 光传输网络测试篇

<b>第15章 PDH设备测试</b> .....	(411)
15.1 PDH单机测试 .....	(411)
15.1.1 电接口部分 .....	(411)
15.1.2 光接口部分 .....	(416)
15.2 PDH系统测试 .....	(419)
15.2.1 误码 .....	(419)
15.2.2 抖动 .....	(420)
15.3 PDH告警功能验证 .....	(423)
参考文献 .....	(426)
<b>第16章 SDH设备测试</b> .....	(427)
16.1 SDH单机测试 .....	(428)
16.1.1 光接口部分 .....	(428)
16.1.2 电接口部分 .....	(435)
16.1.3 抖动测试 .....	(436)
16.1.4 设备保护测试 .....	(441)
16.2 SDH系统测试 .....	(442)
16.2.1 抖动测试 .....	(442)
16.2.2 光通道代价测试 .....	(443)
16.2.3 系统误码特性测试 .....	(444)
16.2.4 保护倒换测试 .....	(446)
16.3 SDH网管功能验证测试 .....	(449)
参考文献 .....	(453)
<b>第17章 DWDM设备测试</b> .....	(454)
17.1 DWDM单机测试 .....	(454)
17.1.1 波长转换单元盘 OTU 测试 .....	(454)
17.1.2 合波器 OMU 测试 .....	(460)
17.1.3 分波器 ODU 测试 .....	(462)
17.1.4 光放大器 OA 测试 .....	(465)
17.1.5 光监控通道测试 .....	(468)
17.2 DWDM系统测试 .....	(470)
17.2.1 系统工作波长及偏差测试 .....	(470)
17.2.2 主光通道测试 .....	(470)

17.2.3	光通道代价测试 .....	(475)
17.2.4	传输特性测试 .....	(476)
17.2.5	主光通道激光器自动关闭功能验证 .....	(477)
17.3	DWDM 网管功能验证 .....	(478)
17.3.1	故障管理 .....	(478)
17.3.2	性能管理 .....	(480)
17.3.3	配置管理 .....	(481)
17.3.4	安全管理 .....	(481)
17.3.5	ECC 通信管理 .....	(482)
	参考文献 .....	(482)

# 第 1 篇

## 光传输技术基础篇

在通信领域里,克服距离、时间上的障碍,实现有效而可靠地“传递信息”是通信的基本任务。然而,“传递信息”的方式方法多种多样。本书仅涉及光纤通信中以光纤作为传输媒质来实现“传递信息”的光传输技术和应用。

本篇为全书的基础篇,描述了有关光传输的基本概念、相关应用技术,包括准同步数字系列(PDH)、同步数字体系(SDH)和波分复用(WDM)的基本原理、传送网络与网络管理的基础知识,介绍了下一代传送网络的演进及 ITU-T 的相关建议。其目的是让读者对光传输技术与应用有一个较完整的了解,从而为理解以下各篇章打好理论基础。



